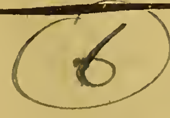
Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der
Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.
Herausgegeben von
Dr. Hans Kurella-Breslau und Professor Dr. A. v. Luzenberger-Neapel.



Heft 3.

Die Ionen- oder elektrolytische Therapie.

Von
Dr. Stephan Leduc,
Professor an der École de Médecine in Nantes.

Mit 26 Abbildungen und Kurven.



Leipzig 1905.
Verlag von Johann Ambrosius Barth
Roßplatz 17.

Die zwanglosen **Abhandlungen auf dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie** wenden sich an ein grosses Publikum.

Der Ausbau der alten klassischen Elektrotherapie und Elektrodiagnostik ist noch nicht vollendet; neue technische und therapeutische Verfahren tauchen beständig auf und harren der Prüfung; rapide entwickelt sich in engster Verbindung mit der medizinischen Elektrotechnik die Radiologie; es bedarf der Gelegenheit zu einer ruhigen Kritik des Neuen und einer systematischen Darstellung des Reifen und Abgeklärten.

Diesem Bestreben soll unsere Sammlung einen Stützpunkt geben, von dem aus auch die immer unentbehrlicher werdende Fühlung mit der Theorie behalten werden soll. Auch das Bedürfnis des praktischen Arztes, darüber etwas zu erfahren, was zur Ergänzung seines Instrumentariums unentbehrlich ist, sowie diejenigen Methoden kennen zu lernen, die er seinen Patienten durch Überweisung an geeignete Spezial-Anstalten zugänglich machen muss, soll so sorgfältig befriedigt werden, wie das des selbständigen Forschers nach dauerndem Kontakt mit der Theorie.

Es enthält:

Heft 1: **Das Wesen der Kathoden- und Röntgenstrahlen.** Von Privatdozent Dr. Johannes Stark-Göttingen. 29 S. 1904. M. —.80.

Heft 2: **Die Wärmestrahlung, ihre Gesetze und ihre Wirkung.** Von Dr. Fritz Frankenhäuser-Berlin. 50 S. 1904. M. 1.20.

Heft 3: **Die Ionen- oder elektrolytische Therapie.** Von Prof. St. Leduc-Nantes. 47 S. mit 26 Abb. 1905. M. 1,50.

Heft 4: **Die Franklinisation.** Von Prof. Dr. v. Luzenberger-Neapel.

Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.

Heft 3.

Die Ionen- oder elektrolytische Therapie.

Von

Dr. Stephan Leduc,

Professor an der École de Médecine in Nantes.

Mit 26 Abbildungen und Kurven.



Leipzig 1905.

Verlag von Johann Ambrosius Barth.

Roßplatz 17.





Inhalts-Verzeichnis.

Seite





I. Allgemeine Theorieen.

Der Körper der lebenden Wesen ist ein Elektrolyt. Unter der Bezeichnung Elektrolyse haben wir alle diejenigen chemischen Veränderungen zu untersuchen, welche der Verlauf des elektrischen Stromes in diesem eigenartigen Elektrolyten hervorruft.

Die Theorie der elektrolytischen Leitung, wie sie 1805 Grotthus formuliert hat, ist lange Zeit klassisch geblieben. Sie sagt aus, dass der elektrische Strom selbst das Molekül des Elektrolyten zersetzt. Wenn dem so wäre, so müssten die durch die geringste Affinität mit einander verbundenen, die leichtest zersetzbaren Substanzen die besten Elektrolyten sein; es ist aber gerade das Gegenteil der Fall: die durch die stärksten chemischen Affinitäten zusammengehaltenen Substanzen, die stärken Säuren, die Alkalisalze bilden die besten Leiter, die bei der Stromleitung anscheinend am leichtesten zersetzlichen Substanzen. Ferner müsste, wenn der elektrische Strom die Zersetzung des Elektrolyten verursachte, es sich herausstellen, dass dabei eine Menge elektrischer Energie verbraucht wird, welche der für diese Zersetzung erforderlichen Energie proportional ist. Nun gibt ein Strom beim Durchfliessen eines Elektrolyten keine andere Energie ab, als diejenige, die man, nach dem Jouleschen Gesetze, in der Form der Wärme wiederfindet; er gibt keine Energie an den Elektrolyten zur Herbeiführung chemischer Zersetzung ab.

1857 wies Clausius darauf hin, dass, wenn der elektrische Strom erst die Zersetzung herbeiführte, dann die elektrische Kraft, welche die Bestandteile des Moleküls zu trennen strebe, einen gewissen Wert erreichen müsse, unterhalb dessen kein Strom passieren könnte; im Augenblicke aber, wo diese Kraft grösser würde als die chemische Affinität, die Zersetzung sich stürmisch in der ganzen Masse des Elektrolyten entwickeln müsse.

Nun vollzieht sich die Abscheidung der zersetzten Stoffe nur an den Elektroden; andrerseits wächst die Geschwindigkeit der Abscheidung regelmässig mit der Stromstärke, sie zeigt für keinen ihrer Werte eine brüske Variation.

Arrhenius hat 1887 eine Theorie formuliert, wonach es das Lösungsmittel, das Wasser, ist, was die Moleküle zersetzt, sie in Ionen

dissoziiert, welche einfache Substanzen oder Radikale sein können. Die für diese Leistung nötige Energie ist ein Teil der bei der Lösung absorbierten Wärme; man nennt sie Ionisierungs-Wärme. Da immer nur ein Teil der gelösten Moleküle dissoziiert wird, enthält eine elektrolytische Lösung mittlerer Konzentration, z. B. eine Kochsalzlösung, drei Arten von Partikeln oder Molen: nicht dissoziierte, elektrisch neutrale NaCl-Moleküle, negativ geladene Cl-Anionen, positiv geladene Na-Kationen. In einer elektrolytischen Lösung ist die Zahl der positiven Ladungen immer gleich der Zahl der negativen Ladungen; das gilt aber nicht für die Ionen, da ein Ion zwei, drei, vier oder fünf elektrische Ladungen tragen kann, denn die Valenz ist durch die Zahl der elektrischen Ladungen bestimmt.

So ist z. B. das Eisen, das in Eisenchlorür zweiwertig ist und zwei positive Ladungen trägt, die imstande sind, die negativen Ladungen von zwei Chlorionen zu binden, im Eisenchlorid dreiwertig, trägt drei positive elektrische Ladungen und kann die negativen Ladungen von drei Chlorionen binden.

Bringt man in einen Elektrolyten eine positive und eine negative Elektrode, so zieht nach den elektrostatischen Gesetzen die positiv geladene Anode die negativ geladenen Anionen an und stösst die positiv geladenen Kationen ab. Die negativ geladene Kathode zieht die positiv geladenen Kationen an und stösst die negativ geladenen Anionen ab. Unter dieser Einwirkung setzen sich die Ionen in Bewegung, transportieren ihre elektrische Ladung nach den Elektroden, die sie neutralisieren und bilden auf diese Weise den elektrischen Strom, der sich aus der Fortführung der elektrischen Ladungen durch die ponderable Masse der Ionen ergibt.

Die Einheiten oder Gruppen, deren Vereinigung oder Trennung die chemischen Reaktionen hervorbringen, können also in neutralem Zustande, ohne elektrische Ladung, oder im Zustande elektrisch geladener Ionen existieren.

Die chemischen Reaktionen bestehen in der Ladung oder Entladung von Ionen. Die chemischen und die physiologischen Eigenschaften hängen viel mehr von der Gruppierung von Ionen als von der Natur der in Betracht kommenden Substanzen selbst ab.

So präzipitiert das Silbernitrat das Ion Chlor, Cl, aber nicht das Chlor der Ionen ClO^3 oder C^2H^3 ClO^2; so ist das Arsenik sehr giftig in dem Ion arsenige Säure, sehr wenig toxisch im Kakodyl-Ion.

Im Jahre 1833 entdeckte Faraday das Gesetz des Verhältnisses zwischen den elektrolytischen Wirkungen und den Elektrizitätsmengen: Um an den Elektroden ein Gramm-Molekül irgend eines

Radikals zur Abscheidung zu bringen, sind pro Valenz dieses Radikals 96537 Coulomb erforderlich.

Wenn man eine elektrolytische Zelle durch eine poröse Scheidewand teilt, so findet man nach der Zersetzung eines oder mehrerer Äquivalente eine ungleiche Verteilung der Verluste. Beim Kupfersulfat z. B. trägt die negative Zelle $^2/_3$ des Verlustes, die positive nur $^1/_3$. Schon 1853 hat Hittorf eine ingeniöse Erklärung dieser Erscheinung gegeben, die folgendes Schema veranschaulicht.

	=	=	=		=	=	=	
−	SO^4	SO^4	SO^4		SO^4	SO^4	SO^4	+
	++	++	++		++	++	++	
	Cu	Cu	Cu		Cu	Cu	Cu	

Fig. 1, vor dem Passieren des Stroms.

			=		=	=				
−			SO^4		SO^4	SO^4	SO^4	SO^4	SO^4	+
			++		++	++				
Cu	Cu	Cu	Cu		Cu	Cu				

Fig. 2, nach dem Passieren des Stroms.

Fig. 1 bedeutet eine elektrolytische Zelle, welche Kupfersulfat enthält, die vertikale Linie bedeutet die poröse Scheidewand, welche diese Zelle in zwei gleiche Teile scheidet. Fig. 2 zeigt den Zustand der Zelle nach dem Passieren des Stroms unter der Annahme, dass das Säure-Radikal sich doppelt so schnell bewegt als das Kation, d. h., dass zwei Säureradikale die Scheidewand passieren, während gleichzeitig nur ein Ion Kupfer nach der Kathode wandert. Man sieht, dass sich auf jeder Elektrode drei Ionen abgeschieden haben, aber infolge der verschiedenen Ionen-Geschwindigkeit enthält die negative Hälfte der Zelle nur noch ein Molekül Kupfersulfat, während die positive Hälfte deren noch zwei enthält und nur ein Drittel ihrer Konzentration verloren hat.

Man sieht somit leicht, dass die Ionen sich mit verschiedener Geschwindigkeit in entgegengesetztem Sinne bewegen und dass die Konzentrations-Verluste n an der Kathode und (1-n) an der Anode sich zu einander verhalten, wie die Geschwindigkeit der Anionen u zu der der Kationen v; es ist also $\frac{n}{1-n} = \frac{u}{v}$ und man hat in den Verhältnissen der Konzentrationsverluste ein Mittel zur Bestimmung der relativen Ionen-Geschwindigkeiten.

1876 verglich Kohlrausch unter gleichen Bedingungen die Leitfähigkeit von Salz-Lösungen, bei gleichem Anion nacheinander drei oder mehr verschiedene Kationen, z. B. untersuchte er erst die Leitfähigkeit der Chloride von Natrium, Kalium und Ammonium, dann die der Bromide, darauf die der Jodide dieser Metalle:

$$Cl — K — Na — NH^4$$
$$Br — K — Na — NH^4$$
$$I — K — Na — NH^4.$$

Er fand zwischen verschiedenen Salzen mit demselben Kation dieselben Leitfähigkeitsunterschiede, die also nur von der Verschiedenheit der Anionen herrührten und sich unabhängig von dem Kation, mit dem die Anionen verbunden waren, erwiesen.

Der analoge, mit drei oder mehr Kationen, die mit verschiedenen Anionen verbunden waren, angestellte Versuch, z. B.:

$$K — Cl — Br — J$$
$$Na — Cl — Br — J$$
$$NH^4 — Cl — Br — J$$

zeigte gleichfalls zwischen der Leitfähigkeit von Salzen mit demselben Anion, aber mit verschiedenen Kationen, immer dieselben Differenzen für dieselben Kationen, unabhängig von den Anionen, mit denen sie verbunden waren.

Das Kohlrauschsche Gesetz lässt sich durch die Formel:

$$C = X\ (u + v)$$

darstellen, in der C die Leitfähigkeit des Salzes, X den Anteil des Elektrolyten an dissoziierten Ionen und v und u die Anionen- und Kationen-Geschwindigkeiten darstellt. Wenn der Elektrolyt vollständig dissoziiert ist, wird $X = 1$ und die Formel lautet

$$C = u + v.$$

Man bezeichnet mit spezifischer Leitfähigkeit (umgekehrter Widerstand, $C = \frac{1}{R}$ in Ohm) die Leitfähigkeit eines Kubikzentimeters eines Elektrolyten.

Man nennt molekuläre Leitfähigkeit die eines Elektrolyten, der zwischen parallelen und um einen Zentimeter von einander abstehenden Elektroden ein Molekül enthält; sie ist gleich der spezifischen Leitfähigkeit, multipliziert mit dem Molekül-Volumen, $u = yv$.

Die molekulare Leitfähigkeit variiert mit dem Verdünnungsgrade und folglich mit dem Molekül-Volumen. Ist die Dissoziierung vollständig,

so erreicht die molekulare Leitfähigkeit ihr Maximum, man stellt sie dann durch das Symbol ∞ dar.

Zusammenfassend finden wir, dass die elektrolytische Leitfähigkeit proportional ist der Zahl der Ionen, ihrer Ladung und ihren Geschwindigkeiten.

II. Der elektrische Strom in den lebenden Organismen.

Die mit Salzlösungen imprägnierten lebenden Gewebe sind Elektrolyte; die durch die Erforschung der Elektrolyte gewonnenen Erkenntnisse sind direkt auf sie anwendbar.

Die elektrische Leitfähigkeit des menschlichen Körpers ist die elektrolytische Leitfähigkeit.

Beim Studium der chemischen Wirkungen, welche durch die Durchströmung des menschlichen Körpers hervorgerufen werden, empfiehlt es sich, die polaren von den interpolaren Wirkungen zu trennen.

Die in der Medizin verwendeten Elektroden sind bald unabgreifbar, wie Kohle, Platin usw., bald angreifbare Elektroden, wie Zink, Kupfer usw., bald Elektrolyten-Elektroden, aus wässrigen Lösungen von Salzen, Säuren oder Basen.

Im Falle der unangreifbaren Elektroden werden die Anionen, nachdem sie bei Erreichung der Anode ihre Ladung abgegeben haben, zu Anhydriden, aus denen sich unter Wasserstoffaufnahme aus den Geweben die entsprechenden Säuren bilden; die Wasserstoffabgabe seitens der Gewebe vollzieht sich unter Zerstörung von Gewebselementen:

$$2\,Cl + H^2O = 2HCl + O;$$

es wird dabei Sauerstoff frei.

Die Kationen werden bei Erreichung der Kathode zu Alkali-Metallen, entziehen den Geweben, die dabei gleichfalls zerstört werden, die Hydroxyl-Gruppe und rufen eine Wasserstoffentwicklung hervor;

$$K + H^2O = KOH + H.$$

Verwendet man Elektroden, welche durch die Produkte der Elektrolyse angegriffen werden — man spricht dann in der Medizin von löslichen Elektroden — so vollzieht sich an der Anode zunächst Säurebildung unter Gewebszerstörung, dann Zersetzung der Elektrode durch die gebildete Säure, es bildet sich ein Salz des Elektrodenmetalls, das dann seinerseits die Erscheinungen ergibt, wie sie den elektrolytischen Elektroden eigentümlich sind.

Verwendet man Elektrolyten-Elektroden, so tritt die doppelte Ionen-Wanderung zwischen der Anode und der Kathode (beides Metalle) auf; es ergibt sich dann an den Berührungsflächen zwischen den verschiedenen Geweben und an der zwischen der Haut und dem flüssigen Elektrolyten der Elektroden ein Ionen-Austauch. An der Anode gibt der Körper seine Anionen ab und erhält die Kationen der Elektrode; an der Kathode gibt der Körper Kationen ab und empfängt die Anionen der Elektrode. Man kann also unter der Anode Kationen in den Körper einführen und unter der Kathode Anionen.

Die Elektrolyten-Elektroden können aus Lösungen von Salzen, Säuren oder Basen bestehen.

Bekanntlich können alle Salze aus einem Säure- oder Halogen-Radikal, das negativ ist — $\overset{-}{R}$ — und einem elektropositiven Metalle $\overset{+}{M}$ durch die Formel R^{m-} M^{n+} dargestellt werden. Das Metall dringt unter der Anode in den Körper ein, das saure Radikal unter der Kathode. Als Resultat ergibt sich ein Wechsel der Beschaffenheit der Salze des Organismus; die Säure verändert sich unter der Kathode, das Metall unter der Anode, wenn das Radikal und das Metall nicht dieselben sind, wie die des Organismus. Bei der Verwendung von Elektroden aus Kochsalzlösungen sind die Vorgänge unter den Elektroden auf ein Minimum beschränkt, ohne doch ganz zu fehlen, denn das Chlor ist nicht das einzige elektronegative Radikal des Organismus, das Natrium nicht sein einziges elektropositives Ion und die ausschliessliche Substitution von Chlornatrium für alle Salze des Organismus hat Konsequenzen, die zum Absterben von Gewebe führen können.

Kurz, die aus Salzlösungen bestehenden Elektroden lassen unter der Kathode ihre sauren Radikale eindringen, die auf die Gewebe zum grossen Teile so wirken, wie die entsprechenden Natronsalze: Jodüre, Sulfate, Phosphate, Sulfide, Bichromate, Salicylate des Natrons. Unter der Anode wird das Metall des Salzes eingeführt, es wirkt im ganzen so, wie sein Chlorid wirken würde. Man kann also vermuten, welche Wirkung die Ionen eines Salzes haben werden, wenn man weiss, wie die Natronsalze seiner Säure und wie die Chloride seines Metalls auf die Gewebe wirken.

Stellen wir den Körper durch eine Chlornatrinm-Lösung dar und die Elektroden durch eine Jodkalium-Lösung. Beim Fortschreiten des Stromes rücken alle Kationen gegen die Kathode, alle Anionen gegen die Anode vor, die Kaliumionen dringen an der Anode, die Jodionen an der Kathode in den Körper.

	Anode		Körper			Kathode		
+	+	+	+	+	+	+	+	
	K	K	Na	Na	Na	K	K	—
	—	—	—	—	—	—	—	
	J	J	Cl	Cl	Cl	J	J	

vor dem Eintreten des Stroms;

	Anode			Körper			Kathode			
			+	+	+	+	+			
+			K	K	Na	Na	Na	K	K	—
			—	—	—	—	—			
	J	J	Cl	Cl	Cl	J	J			

nach dem Eintreten des Stroms.

Alle sauren Lösungen besitzen das nämliche Kation: den Wasserstoff; sie bilden demnach alle äquivalente Anoden. Sind unsere Lösungen hinreichend verdünnt, sodass eine unmittelbare Wirkung der Säuren auf die Haut nicht stattfindet, so werden Salz-, Schwefel-, Phosphorsäure, organische Säuren usw. genau denselben Endeffekt äussern. Stellen wir den Körper durch eine Kochsalz-, die Elektroden durch eine Säurelösung $(\overset{-}{R}\overset{+}{H})$ dar:

	Anode		Körper			Kathode		
	+	+	+	+	+	+	+	
+	H	H	Na	Na	Na	H	H	—
	—	—	—	—	—	—	—	
	R	R	Cl	Cl	Cl	R	R	

vor dem Eintritt des Stroms;

	Anode			Körper			Kathode			
			+	+	+	+	+			
+			H	H	Na	Na	Na	H	H	—
			—	—	—	—	—			
	R	R	Cl	Cl	Cl	R	R			

nach dem Eintritt des Stroms.

Man ersieht, dass nach Eintreten des Stroms, welche auch immer die verwendete Säure gewesen sei, an der Anode Ersatz der Metalle der Gewebe durch Wasserstoff stattfindet, der mit den negativen Radikalen der Salze des Organismus die betreffenden Säuren rekonstituiert. Die Chloride werden ersetzt durch Salzsäure, die Sulfate durch Schwefelsäure, die Phosphate durch Phosphorsäure usw.

Alle basischen Elektroden besitzen das gleiche Anion, das Hydroxyl $(\overset{+}{O}H)$, sie bilden also sämtlich äquivalente Kathoden. Ist die Lösung verdünnt genug, um eine direkte kaustische Einwirkung auf die Haut auszuschliessen, so werden Kalium, Natrium, Lithium, organisches Alkali als

Kathode genau dieselben Enderscheinungen hervorrufen. Stellen wir den Körper durch eine Kochsalz-, die Elektroden durch basische Lösungen OH^{m-} M^{n+} dar, so haben wir:

Anode		Körper			Kathode	
+	+	+	+	+	+	+
M	M	Na	Na	Na	M	M
—	—	—	—	—	—	—
OH	OH	Cl	Cl	Cl	OH	OH

vor dem Eintritt des Stroms;

Anode			Körper				Kathode	
		+	+	+	+	+		
		M	M	Na	Na	Na	M	M
		—	—	—	—	—		
OH	OH	Cl	Cl	Cl	OH	OH		

nach dem Eintritt des Stroms.

Wirkungen des Stroms an den Elektroden (polare Wirkungen).

Man sieht, dass nach dem Eintreten des Stroms, welches auch die angewendete Base sei, an der Kathode Substitution des Hydroxyls OH für die sauren Radikale der Gewebe stattfindet und dies rekonstituiert mit den Metallen des Organismus die betreffenden Basen. Die Natriumsalze werden ersetzt durch Natrium, die Kalisalze durch Kalium usw.

Interpolare Wirkungen.

Die Doppelströmung, durch welche die Anionen zur Anode, die Kationen zur Kathode getrieben werden, besteht überall in der Tiefe der Gewebe, wo der elektrische Strom zirkuliert; hieraus resultiert an jeder Trennungsfläche zweier chemisch differenter Flüssigkeitsinhalte eine Änderung in dieser ihrer chemischen Konstitution, Umsetzungen, welche leicht darzustellen sind, wenn man sich, wie oben, S. 11, das Verhalten einer Kochsalzlösung zwischen zwei Jodkalilösungen vergegenwärtigt. Man sieht, dass hier beim Eintreten des Stromes Kalium in die Kochsalzlösung auf der Anodenseite, Jod auf der Kathodenseite eindringt und das Ergebnis ist in der mittleren Lösung Ersatz des Kochsalzes durch das Jodkali der Nachbarschaft.

Man könnte glauben, dass diese Substitution auf einfache Diffusion zurückzuführen wäre ohne Beteiligung des elektrischen Stroms, aber eine grosse Zahl von Versuchen, auf welche wir noch zurückkommen werden, beweist, dass der elektrische Strom die elektrolytischen Substanzen in

das Protoplasma hineintreibt, welches ohne Mitwirkung des Stroms für diese Stoffe völlig undurchdringlich ist.

Wenn der elektrische Strom von einem chemischen Medium zum andern übergeht, so bezeichnet man das erstere als positiv, das zweite als negativ; das Endergebnis des Stromablaufs ist in dem positiven Leiter der Ersatz seiner Anionen durch jene des negativen Leiters und für diesen der Ersatz seiner Kationen durch die des positiven.

Experimentelle Ergebnisse.

Die bis hierher innegehaltene Darstellungsweise folgt der heutigen Theorie der Elektrolyse, gemäss der von uns ausgesprochenen Voraussetzung: Die lebenden Gewebe sind Elektrolyten und die durch die Untersuchung der Elektrolyten gewonnenen Erkenntnisse sind unmittelbar auf sie anwendbar. Wir wollen nun sehen, wie das Experiment die theoretische Deduktion bestätigt.

Die Beobachter, welche die elektrolytische Absorption untersucht haben, erwiesen diese durch die chemisch-analytische Ermittelung von Ionen im Urin und Geweben oder durch die Hervorrufung physiologischer Erscheinungen: von Konvulsionen mit Hilfe von Strychnin, von Pupillenerweiterung durch Atropin, von Anästhesie durch Cocaïn, von Schweissausbruch durch Pilokarpin usw.

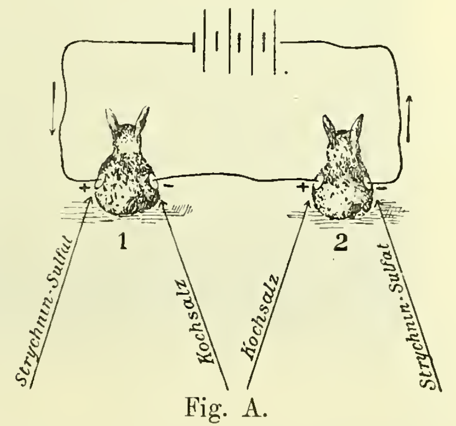


Fig. A.

Gegen die Methode des Nachweises auf dem chemischen Wege und dem der Hervorrufung physiologischer Wirkungen warf man ein, dass die Absorption durch die Haut geschähe, ohne dass der Strom dabei mitwirke; die elektrolytische Absorption wurde noch lange von der Mehrzahl der Physiologen und Ärzte bestritten.

Die Methode der in Serie vorgenommenen Tierelektrisierung beseitigt die oben erwähnten Einwände. Die Tiere werden sämtlich in ein und demselben Strom eingeschaltet derart, dass dieser durch das eine Tier ein- und durch das andere austritt, und zwar mittels einer Elektrode, welche das toxische Ion in Lösung erhält, während die beiden anderen Elektroden aus einer harmlosen Substanz, etwa einer Kochsalzlösung bestehen. Bei diesem Versuche wird ein Kaninchen mit einer Anode von Strychninsulfat oder einer Cyankalikathode schnell getötet, während

die übrigen denselben Strömen und Kontakten ausgesetzten Tiere, wenn sie nur das Strychnin an der Kathode, das Cyankali an der Anode haben, Widerstand leisten und am Leben bleiben.

In dem einen Versuche dringt das mit dem Strome fortgeführte Strychnin, welches nur in absteigender Richtung, nicht in aufsteigender, sich bewegt, in das Versuchstier I und dieses geht zugrunde, es verschont aber das Tier II, und dieses, obwohl in demselben Stromkreise und unter gleicher chemischer Applikation, bleibt am Leben.

Einen weiteren Beweis für die elektrolytische Ionenwanderung erhält man bei Anwendung farbiger Ionen.

Wenn man z. B. als Elektroden eine Kaliumpermanganatlösung verwendet, so dringt Kalium an der Anode, an der Kathode das Per-



Fig. B.

manganium in die Haut ein. An der Anode zeigt die Haut nach Stromschluss keine offensichtliche Veränderung, während sie an der Kathode eine schwärzliche Punktierung aufweist als Effekt des Eindringens des Permanganium, wie die Photographie des Armes von Herrn Dr. Gonzalez Quisano Sanchez, nach Einführung des Permangans an einer Kaliumpermanganatkathode zeigt. Wenn man als Elektrode eine Goldchloridlösung verwendet, so dringt Chlor an der Kathode in die Haut ein und diese zeigt nach dem Hindurchgehen des Stroms keine merkliche

Veränderung, während sie an der Anode als Wirkung des Eintretens von Goldionen eine braune Punktierung erkennen lässt.

Benutzt man Säurelösungen als Elektroden, so dringt das Wasserstoffion ($\overset{+}{H}$) an der Anode durch die Haut und verbindet sich mit den elektronegativen Radikalen der Gewebe ($\overset{-}{R}$) zu Bildungen von Säuren ($\overset{-+}{RH}$), die dadurch hervorgerufenen kaustischen Wirkungen ergeben genau den Ort und die Ausbreitung der eingedrungenen Hydrogenionen.

Bei Elektroden von Alkalilösungen dringt Hydroxyl an der Kathode ein, verbindet sich mit den Metallen der Gewebe (M) zu den entsprechenden Basen $\overset{-}{OH}\,\overset{+}{M}$ und die von diesen gesetzten Schorfe verraten Ort und Ausbreitung der Hydroxyleinwanderung.

Ebenso können andere Ionen, z. B. das Schwefelion ($\overset{-}{S}$), wie die Wasserstoff- und Hydroxylionen in die Gewebe hinein verfolgt werden.

Die farbigen und die kaustischen Ionen, welche ihren Weg im Gewebe aufzeichnen, lassen erkennen, dass der elektrische Strom nur durch die Drüsen vordringt, die Spuren dieser Ionen geben stets die Umrisse der Drüsentopographie.

Der Widerstand der Colloide und der Gewebe gegen molekulare und Ionenbewegungen.

Wir haben gesehen, dass nach den Versuchen von Hittorf die Ionen im Elektrolyt unter der Wirkung der gleichen Spannungsdifferenz sich mit verschiedener Geschwindigkeit verschieben, und Kohlrauschs Gesetz lehrt, dass die Leitfähigkeit eines Elektrolyts proportional ist der Summe der Geschwindigkeiten seiner Ionen, $C = X\,(u + v)$. Die Geschwindigkeiten der verschiedenen Ionen sind gemessen worden und Tabellen darüber sind in den elektrochemischen Lehrbüchern zu finden. Doch beziehen sich diese Messungen und diese Tabellen nur auf die wässerigen Lösungen. Sind sie auf die lebenden Gewebe anwendbar, in denen die Ionen sich innerhalb viscoser, colloider Quellungen einherbewegen und Membranen und verschiedenartige Gewebe durchsetzen? Nur der Versuch vermag diese Frage zu beantworten.

Nach Graham und Voigtländer erleidet die Diffusionsgeschwindigkeit gelöster Substanzen keine Veränderung, wenn man die Flüssigkeit, in der die Diffusion vor sich geht, mit gallertartigen Substanzen versetzt (Dr. Ernst Cohen, Physikalische Chemie in der Medizin, Seite 116). Unser Experiment hat dagegen gezeigt, dass die Diffusionsgeschwindigkeit im wesentlichen nach der Konzentration und der Beschaffenheit der

Gallertsubstanzen, in der die Diffusion erfolgt, sich richtet. Jedermann wird dies mit Hilfe der folgenden Versuche bestätigt finden:

Bedeutung der Konzentration der Gallertsubstanzen.

Man stelle Gelatinelösungen her, die auf hundert Gramm Lösung 2, 3, 4, 8, 12, 16 und 20 Gramm Gelatine enthalten. Man erhitze, bis die Gelatine eine entsprechende Leichtflüssigkeit bekommt. Man nehme nun sechs dünne Glasplatten und lasse auf einer jeden eine gleichstarke Schicht der Lösungen verfliessen, die Platten werden auf eine bis zwei Stunden weggestellt, bis die Gelatine gut fixiert ist; jede Platte wird dann auf ein Blatt weisses Papier gelegt, auf welchem drei in grader Linie gelegene Punkte von je einem Zentimeter Entfernung angemerkt sind. Die Mitte der Platte fällt auf den mittleren Punkt. Nun appliziert man auf einen der zwei übrigen Punkte einen Tropfen einer 10prozent. Blutlaugensalz-Kaliumeisencyanürlösung, auf den anderen einen Tropfen einer 10prozentigen Kupfersulfatlösung, darauf werden sämtliche Platten auf ein Blatt weisses Papier gelegt; die Solutionen diffundieren gleichmässig in der Gelatine; wenn das Blutlaugensalz und das Kupfersulfat sich treffen, bildet sich ein brauner Strich von Kupfereisencyanür, dessen Bildung auf dem weissen Papier leicht zu verfolgen ist. Man ermittelt nun die Zeit, welche vom Beginn der Imbibition der Tropfen bis zur Erscheinung des Niederschlags vergeht: diese Zeit ist umgekehrt proportional der Diffusionsgeschwindigkeit und man kann in dieser Weise die Geschwindigkeit berechnen.

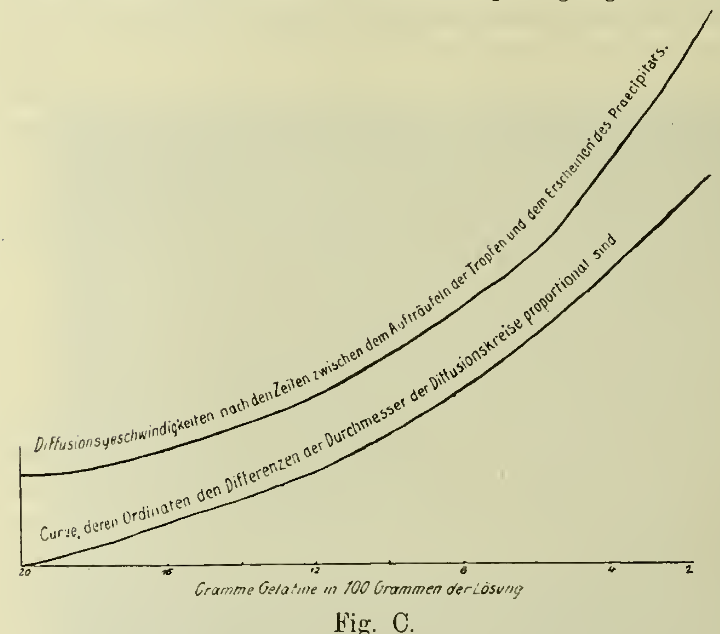


Fig. C.

Die Kurve, welche man erhält, wenn man auf der Abscisse das Verhältnis der Verdünnung der Gallertsubstanz und auf der Ordinate

das der Diffusionsgeschwindigkeit einträgt, zeigt, wie sehr die Durchdringungs-Geschwindigkeit mit der Konzentration der Gelatinelösung wechselt, da in einer 20prozentigen Gelatine die Lösungen mehr als 6 mal soviel Zeit zur Begegnung bedürfen, als in einer 2prozentigen.

Beschaffenheit der Lösungen.

Man überzieht wiederum drei dünne Glasplatten mit einer 10prozentigen Gelatineschicht, welche Spuren von Kaliumeisencyanür enthält, die erste präpariere man mit destilliertem Wasser, die zweite mit einer (1 : 500) schwachen Schwefelsäure-, die dritte mit einer ebensolchen (1 : 500) Kali-

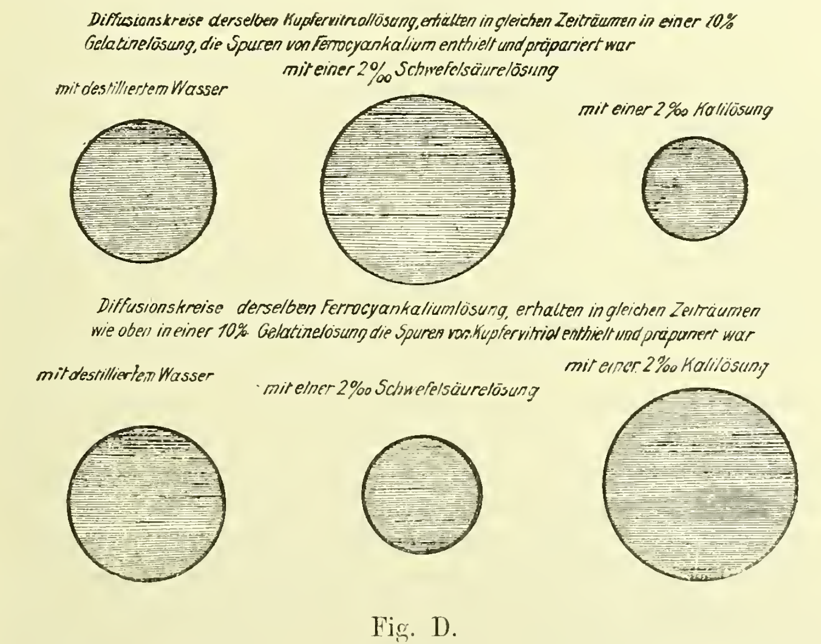


Fig. D.

lösung. Man gebe nun auf jede Platte einen Tropfen einer 10prozentigen Kupfersulfatlösung, man lässt durchdringen und findet nach 24 Stunden, dass die Diffusionskreise des Kupfereisencyanürs ungleich sind, die Durchdringung ist auf der sauren Platte viel ausgebreiteter, auf der alkalischen viel geringer als auf der Wasserplatte, die Säure hat also die Diffusion des Kupfersulfats beschleunigt, das Alkali sie verzögert.

Ein ähnliches Experiment, bei welchem man eine gleiche Lösung von Kaliumeisencyanür auf einer neutralen sauren und alkalischen Platte mit Spuren von Kupfersulfat diffundieren lässt, zeigt, dass umgekehrt wie beim Kupfersulfat, die Diffusion des Ferrocyankaliums durch Alkalien beschleunigt, durch Säuren verlangsamt wird.

Die Resultate dieser Versuche wurden durch andere Methoden kontrolliert (Comptes rendues, Académie des Sciences de Paris, 17. Juni 1901 Congrès de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences, Ajaccio 1901).

Es ergibt sich aus diesen Versuchen, dass die Gallerte nach Beschaffenheit und Konzentration den von gleichen Kräften angetriebenen Molekularbewegungen verschiedenfache Widerstände entgegensetzen. Es ist also zu erwarten, dass diese selben Massen den Ionenbewegungen verschiedenartige Widerstände entgegensetzen werden.

Die Widerstände der Colloide gegen die Ionenbewegungen.

Wenn die Gallertsubstanzen den Ionenbewegungen einen um so grösseren Widerstand entgegensetzen, je konzentrierter sie sind, so wird, da der elektrische Strom in den Elektrolyten ein Korrelat der Ionenbewegung ist, der elektrische Widerstand der Gallerte mit der Konzentration. wachsen.

Wir haben die elektrischen Widerstände von Gallert-Säulen gleicher Form und Grösse, die mit 1 prozentiger Kochsalzlösung präpariert, aber von verschiedenartiger Gallert-Konzentration waren, gemessen.

Die Säule von 2 Gramm Gelatine und 100 Gramm Wasser hatte einen Widerstand von 1200 Ohm, dieser Widerstand schwankte wenig bis zu einer Konzentration von 30 Gramm Gelatine und 100 Gramm Wasser, was wohl den geringen Dimensionen der Ionen zugeschrieben werden darf; der Widerstand der 40 prozentigen Lösungen dagegen stieg auf 2500 Ohm, der 50 prozentigen auf 3400 Ohm.

Also setzen die Gelatinelösungen den Molekular- und Ionenbewegungen um so grösseren Widerstand entgegen, je konzentrierter sie sind.

Übrigens führt die Ansicht, welche behauptet, dass die Gegenwart der Gelatine die Durchdringungsfähigkeit nicht ändert, notgedrungen zu der absurden Folgerung, dass die Diffusion und die elektrische Leitungsfähigkeit in der trockenen Gelatine und im reinen Wasser gleich sein müssen. Nach allen Versuchen wird man vermuten können, dass die Ionengeschwindigkeiten im lebenden Gewebe und im puren Wasser sich nicht gleich sind, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Ionen hierin wechseln, dass die Geschwindigkeiten in den verschiedenen Geweben verschieden sein können.

Leitungskurven der lebenden Gewebe.

Der Körperwiderstand ist im grossen und ganzen der Hautwiderstand, er bedeutet das Hindernis, welches dieser dem Durchzuge der Ionen ent-

gegenstellt, er muss von der Beschaffenheit der Ionen, ihrer Grösse usw., der des Zellenplasmas, seiner chemischen Zusammensetzung usw. abhängen. Wir müssen also die Bedeutung dieser verschiedenartigen Einflüsse auf die elektrische Widerstandsfähigkeit des menschlichen Körpers R ins Auge fassen, oder besser die Leitungsfähigkeit C, den reziproken Wert des Widerstandes $\left(C = \frac{1}{R}\right)$.

Der Widerstand an den Elektroden ist ihrer Oberfläche umgekehrt proportional. Berücksichtigt man nur die Widerstände r und R an den beiden Elektroden, so ist der Ausdruck für die Leitungsfähigkeit $C = \frac{I}{r + R}$, worin r den kleinen Widerstand der grossen Elektrode, R den grossen Widerstand der kleinen Elektrode bedeutet. Ist das Verhältnis der Elektrodendimensionen derart, dass r im Vergleich zu R vernachlässigt werden kann, so kann die Leitungsfähigkeit als ausschliesslich von dem grossen Widerstande der kleinen Elektrode abhängig angenommen werden.

Zur Herstellung unserer Leitungskurven verwenden wir eine indifferente grosse Elektrode mit nur geringem Einfluss auf die Leitfähigkeit und die Stromstärke, und zum Studium der Ionenwirkung eine kleine Elektrode, deren Rolle bei der Leitfähigkeit und der Stromstärke vorwiegend wird. Die indifferente Elektrode hat wenigstens 250 Quadratzentimeter, während die aktive Elektrode nur 10 oder 12 qcm misst.

Wenn man den Stromkreis derart gestaltet, dass der äussere Widerstand im Verhältnis zum Körperwiderstand vernachlässigt werden kann, den besonders der Hautwiderstand unter der kleinen Elektrode ausmacht, so sind bei genügender Konstanz der elektromotorischen Kraft die Intensitätsschwankungen parallel den Leitungsschwankungen an der kleinen Elektrode. Bei Akkumulatoren von grosser Fläche, also grosser Kapazität, ist der äussere Widerstand im Vergleich zu dem Körperwiderstande verschwindend und infolge der angewendeten geringen Stromstärke ist die elektromotorische Kraft absolut konstant.

Der Stromkreis, dessen wir uns zur Zeichnung der Leitungskurven bedienen, besteht aus drei Akkumulatoren, einem sehr empfindlichen aperiodischen Galvanometer, welcher $^1/_4$ M.-A. genau zeigt, endlich einem Stromwender, mit dem man die Stromrichtung im Körper momentan wechseln kann.

Die grosse indifferente Elektrode wird mit einprozentiger Kochsalzlösung, die kleine aus dichter hydrophiler Gaze mit der zur Untersuchung bestimmten Lösung durchfeuchtet und an die Stelle der Haut gebracht, deren Leitungsfähigkeit für die Ionen man bestimmen will.

Im Augenblicke der Stromschliessung löst man den Sekundenzeiger eines Chronometers und man bestimmt die Stromstärken am Galvanometer alle fünfzehn Sekunden, wenn ihre Schwankungen geschwind, alle Minuten, wenn sie langsam sind. Wenn die Stromstärke konstant geworden ist, kehrt man den Strom um, wodurch das an der kleinen Elektrode wandernde Ion gewechselt wird und notiert wiederum die Stromstärke. So erhält man eine Tabelle der Stromstärken zu den verschiedenen Zeiten. Man trägt nun die Zeiten auf der Abszisse, die Stromstärken auf der Ordinate ein, verbindet die Gipfel der Ordinaten und erhält so die Kurve der Stromstärken, welche jener der Hautleitung an der kleinen Elektrode parallel ist; für die verwendete elektromotorische Kraft und die Ionen, die in der Elektrode enthalten sind, hat man dann die Beziehung: $I = E \times \frac{1}{R} = EC$.

(Siehe Fig. 1, 2, 3, 4.)

Ich gebe hier eine Anzahl solcher Kurven, teils eigene, teils von Herrn Dr. Gonzalez Quijano ermittelte.

Die Kurven sind geeignet, Ärzten und Biologen vieles verständlich zu machen und es ist zweckmässig, genauer auf ihre Deutung einzugehen.

Zum Verständnis der verschiedenen Teile der Kurven muss man sich erinnern, dass die Leitung der Elektrolyte sich im wesentlichen richtet

1. nach der Beschaffenheit der Ionen, die den Elektrolyten konstituieren,

2. nach ihrer Zahl, d. h. der Konzentration und der Dissoziation der elektrolytischen Lösung,

3. nach ihrer Geschwindigkeit, also, wie wir gesehen haben, nach dem Widerstande, den das Protoplasma den Ionenbewegungen entgegensetzt.

Die Kurve des salzsauren Chinins also hebt bei der Anode als aktiver Elektrode an, die Körperanionen verlassen die Haut und dringen in die Elektrode, ihrerseits ersetzt durch die Anionen tieferer Schichten, dieser Prozess verändert nur wenig den Zustand der Haut. Das Chininion dringt aus der Elektrode in die Haut, deren Kationen es ersetzt, seine Anwesenheit verändert hier das Zellenprotoplasma.

Alle diese Vorgänge sind geeignet, die Leitfähigkeit der Haut und die Stromintensität, welche bei konstanter elektromotorischer Kraft ein bestimmtes Verhältnis besitzt, zu stören, die Kurve zeigt wirklich, dass der Zuwachs an Stromstärke anfangs bedeutend ist, dann immer langsamer wird, die Kurve der Stromstärke schliesslich dazu neigt, der Abszissenaxe parallel zu werden. Die Umkehrung des Stroms verwandelt sechs Minuten später die Anode in die Kathode, das Chlorion

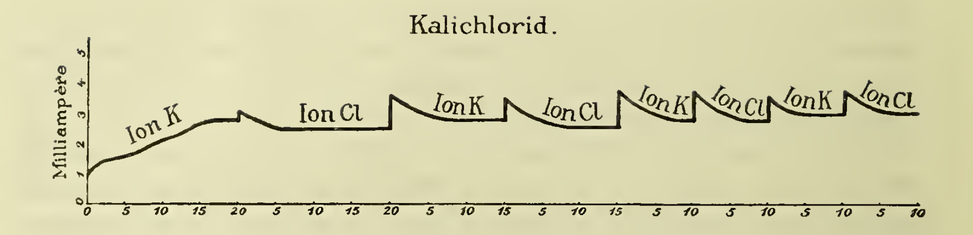
tritt jetzt in die Haut, man erblickt einen Intensitätszuwachs, der weit grösser ist, als zur Zeit der Einführung des alkalischen Radikals des Chininsalzes, dieses Ansteigen verlangsamt sich und die Kurve wird wieder der Abszissen-Achse parallel.

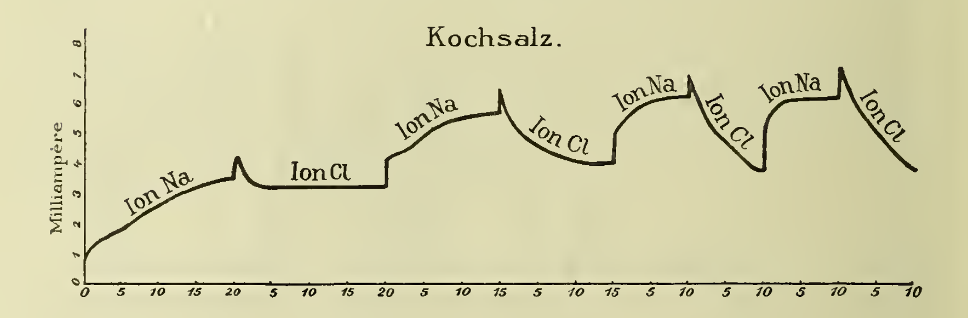
Die Wendung, welche wiederum Chinin in den Körper einführt, gibt von neuem Anlass zu einem schroffen Gipfel, doch fällt die Intensität alsbald schnell unter die vorherige. Durch mehrfache Unterbrechungen

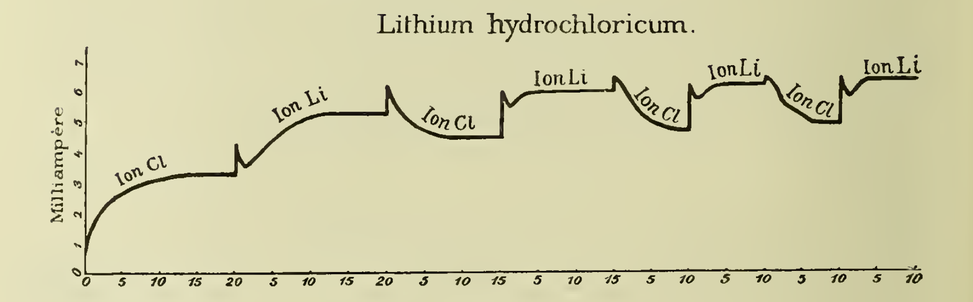


Fig. 1.

des Stroms wird die Kurve immer mehr spezifisch typisch und nimmt einen ausgesprochen gleichmässigen Charakter an. Die Intensitätsschwankungen können nur auf zwei Ursachen zurückgeführt werden: 1. auf die Schwankungen des Körperwiderstandes, 2. auf die Polarisationserscheinungen. Die schroffen und flüchtigen Schwankungen nach den Stromwendungen sind die Folge der Polarisation, die die Kurve also näher kennen lehrt. Die andern Schwankungen kommen vom Wechsel des Körperwiderstandes, vom Ersatz des Elektrodenions für das Haution, sei es unmittelbar, oder wie des öfteren infolge der sekundären Wirkung auf die organischen Elektrolyte oder Colloide; wenn der Strom länger


Kalichlorid.
Milliampère
Ion K
Ion Cl
Ion K
Ion Cl
Ion K
Ion Cl
Ion K
Ion Cl


Kochsalz.
Milliampère
Ion Na
Ion Cl
Ion Na
Ion Cl
Ion Na
Ion Cl
Ion Na
Ion Cl


Lithium hydrochloricum.
Milliampère
Ion Cl
Ion Li
Ion Cl
Ion Li
Ion Cl
Ion Li
Ion Cl
Ion Li

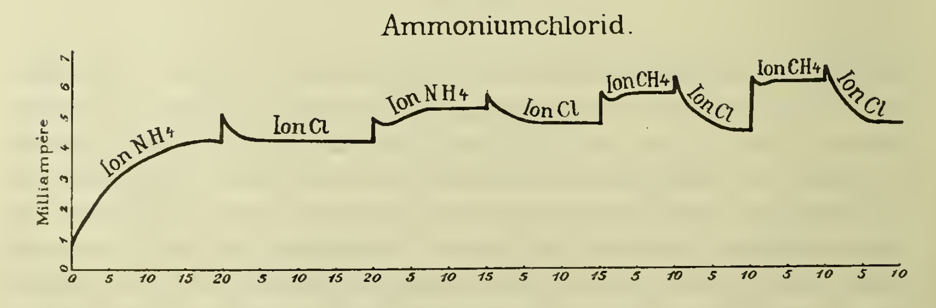
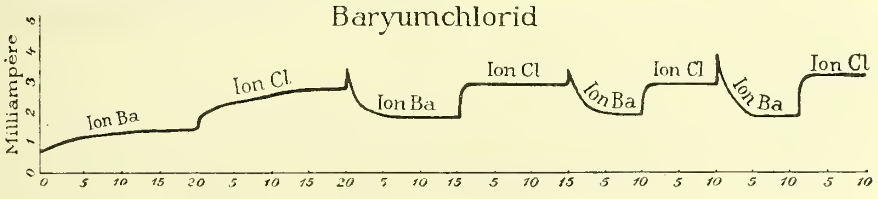
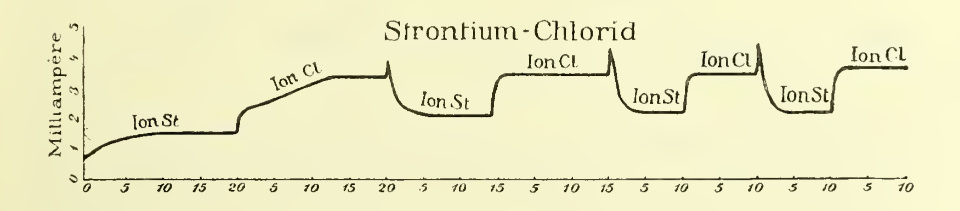

Ammoniumchlorid.
Milliampère
Ion NH4
Ion Cl
Ion NH4
Ion Cl
Ion CH4
Ion Cl
Ion CH4
Ion Cl

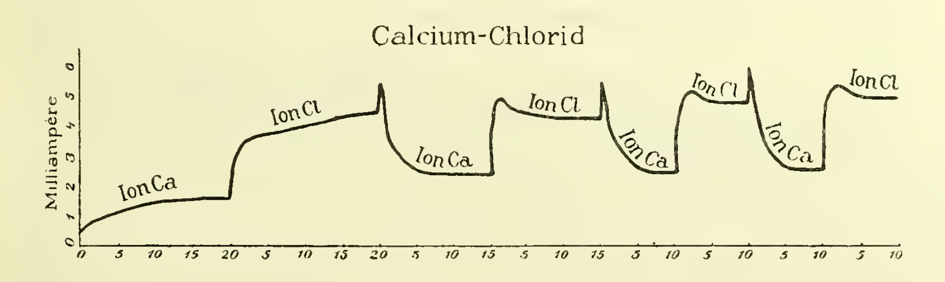
Fig. 2.

andauert, so wird die Stromstärke infolge der Körperleitung konstant, die Ioneneinfuhr ändert nichts mehr an der Hautleitung, ein Umstand, der die Annahme nahe legt, dass die Haut die neuen Ionen im Verhältnis ihrer Zuwanderung wegschafft. Die Hautleitung in dieser Phase wird proportional der Ionengeschwindigkeit, und die den horizontalen Kurvenabschnitten entsprechenden Stromstärken stehen für beide Ionen in demselben Verhältnis als die Geschwindigkeiten dieser Ionen.

Seien J^{Cl} und J^{Ch} die den horizontalen Abschnitten der Kurven für die Chlor- und Chininionen entsprechenden Intensitäten und v^{Cl} v^{Ch} die







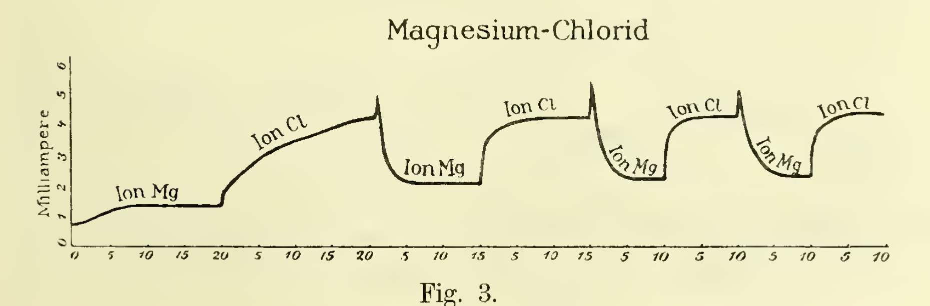


Fig. 3.

Geschwindigkeiten der in den Geweben zirkulierenden Ionen, so erhält man $\frac{v^{Cl}}{v^{Ch}} = \frac{J^{Cl}}{J^{Ch}}$. So kann man also die jeweiligen Ionengeschwindigkeiten berechnen.

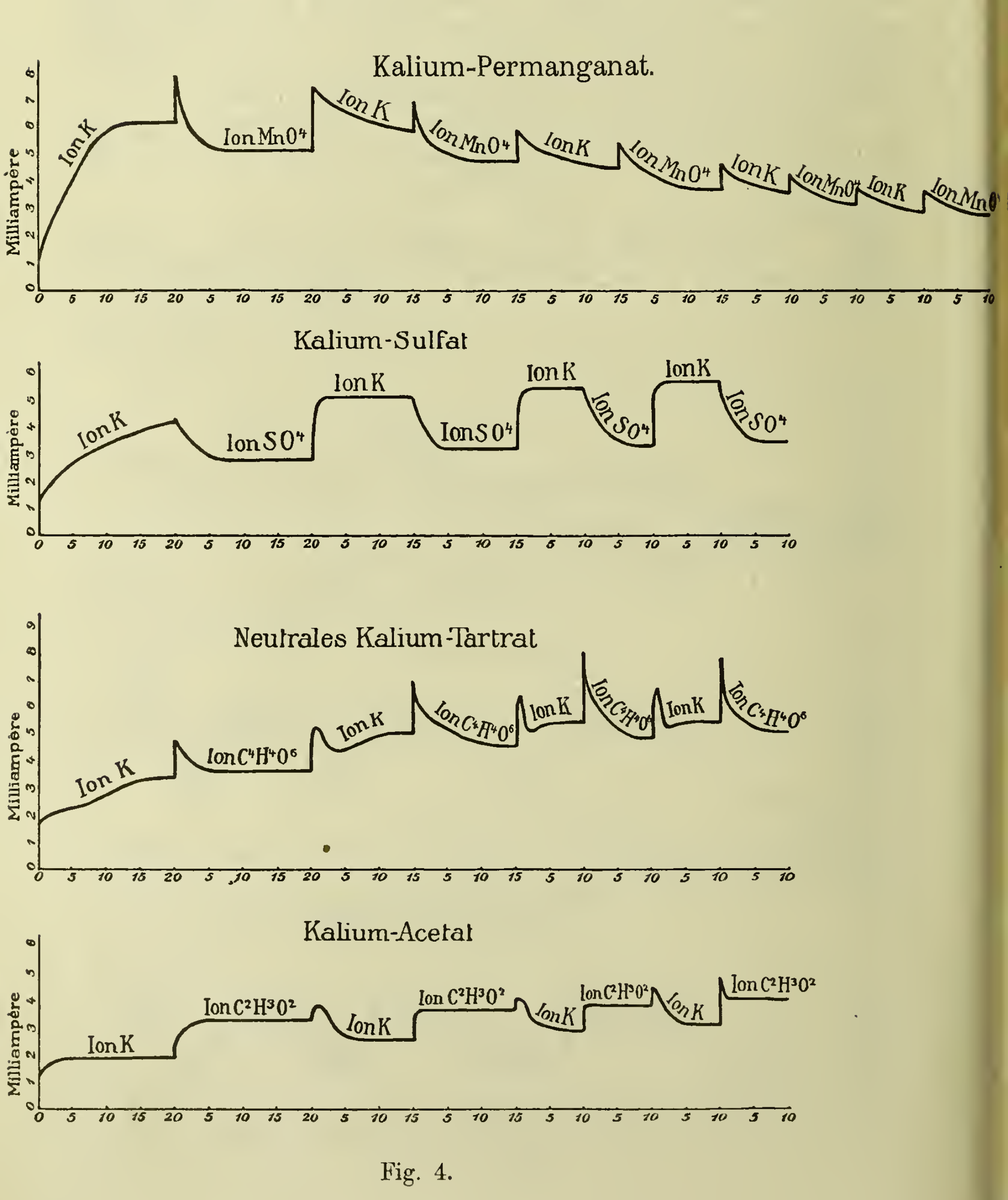


Fig. 4.

Die Chlorkaliumkurve zeigt, dass bei diesem Salze die Stromstärke nicht wechselt, wenn man den Strom wendet, die Gewebsleitung ist für das Chlor wie für das Kalium deutlich die gleiche, das nämliche Resultat, welches Kohlrausch bei der Untersuchung der Chlor- und der Kaliumionen in Wasserlösung erhielt. Hieraus ergibt sich, dass bei Verwendung einer Lösung von Chlorkalium zur Imprägnation der indifferenten Elektrode, die Stromwendungen an dieser nicht die Stromstärke beeinflussen; so verwende ich denn bei allen Versuchen für die indifferente Elektrode eine Lösung von Chlorkalium.

Die Leitungskurven der Gewebe für die Metallionen der gleichen Gruppe in Verbindung mit demselben Anion zeigen unter einander eine deutliche Ähnlichkeit, wie man bei den Alkalichloriden und Erdalkalichloriden zu sehen Gelegenheit hat.

So weit aus den Untersuchungen zu schliessen ist, zeigen die Leitungskurven viele Besonderheiten, die Licht auf die Stromwirkungen an den Elektroden werfen.

Physiologische Wirkungen der auf elektrolytischem Wege eingedrungenen Ionen.

Der an einer Elektrode durch die gleiche Elektrizitätsmenge in derselben Zeit hervorgerufene Effekt ändert sich im wesentlichen nach der Beschaffenheit der eingeführten Ionen. Es ist von grossem praktischen Interesse, die Wirkung aller Ionen zu kennen. Diese Untersuchungen haben kaum begonnen. Man muss dabei die allgemeinen Ionenwirkungen von den lokalen unterscheiden.

Die allgemeinen Ionenwirkungen können durchaus und mit Sicherheit für die praktische Medizin nutzbar gemacht werden. Es ist völlig irrtümlich, sie als schwach und geringfügig zu betrachten. Wir haben gesehen, wie leicht man ein Kaninchen durch Ioneneinwanderung von Strychnin und Cyankali töten kann. Ebenso leicht ist es, durch die Haut auf elektrischem Wege tötliche Adrenalin-Dosen oder irgend andere toxische Ionen zu treiben. Ebenso leicht ist es auch beim Menschen, mit dem Strome durch die Haut Ionen in toxischen, also auch in therapeutischen Dosen einzuführen. Es wäre gewiss nicht schwieriger, einen Menschen durch elektrolytische Einwanderung eines Giftes durch die Haut zu töten, als ein Kaninchen, wir selbst haben an uns mehrere Male sehr leicht die toxische Wirkung des Morphiums hervorgerufen. Dr. Bouchet hat an sich Intoxikationen, Schwindel, Schwäche der Beine, Tremor durch elektrolytische Einverleibung von Adrenalinionen erzeugt. Die Methode der elektrolytischen Aufnahme von Medikamenten kann

heute mit Nutzen verwendet werden, auch für die Mittel, welche nur in relativ hohen Dosen wirksam sind, wie etwa das Jod; denn mit Hilfe der Elektrizitätsquellen und der grossen mit 8—12 dicken Lagen hydrophiler Gaze armierten und mit der elektrolytischen Lösung getränkten Elektroden, die ein ganzes Glied oder den Rumpf bedecken, ist es leicht, hohe Stromstärken von 100—200 M.-A. anzuwenden, welche mit Geschwindigkeit wirksame Mengen des Medikamentes eindringen lassen. A priori werden die allgemeinen Wirkungen der Ionentherapie nicht die gleichen sein wie diejenigen, welche die Aufnahme per os oder durch die Substanz-Injektion hervorrufen. Die Resorption des Chlorlithiums z. B., welches den Alkalichloriden des Körperhaushalts sich sonst nur hinzugesellt, ist nicht dieselbe wie die elektrolytische Resorption der gleichen Menge Lithium, denn in dieser Zuführung verdrängt letzteres die Alkalimetalle des Körpers. Auch kann die elektrolytische Therapie eine günstige allgemeine Wirkungsweise entfalten durch die mögliche Elimination toxischer oder unbequemer Ionen aus dem Körperhaushalt. Dr. Bordier hat die bemerkenswerte Auswanderung des Harnsäure-Ions durch den elektrischen Strom im Anodenbade nachgewiesen.

Besonders sind es die örtlichen Wirkungen der Ionen, deren Kenntnis interessant ist, doch ist dieses Forschungsgebiet bisher kaum angebrochen. Die Ionentherapie gewährt Hilfen, die keine andere Art der Medikation bietet, sie gestattet jeder Zelle der Gewebe, die meistens für die medikamentösen Substanzen unerreichbar sind, die gesamte Ionenreihe zuzuführen und soviel verschiedene Reaktionen zu erhalten, als es Ionen gibt. Kennt man die Mannigfaltigkeit, die Verschiedenartigkeit aller dieser Wirkungsweisen, welche man durch Ladung der Ion-Zellen ganz in beliebiger Stärke und Tiefe mit allen diesen elektrolytischen Substanzen hervorrufen kann, so ist man höchst erstaunt, die Heilkunde bei ihren oberflächlichen Anwendungsweisen verweilen zu sehen, bei ihren Salben und Pomaden, die nur sehr flüchtig wirken und von denen nur ein verschwindender Bruchteil ins Innere eindringen kann. Freilich können manche lokal wirkenden Medikamente in beträchtlichen Mengen resorbiert werden, aber es sind dies just solche, welche keine oder geringe Wichtigkeit vom Gesichtspunkte der Lokaltherapie aus besitzen, die leicht in den allgemeinen Kreislauf gelangen und die Haut, ohne sie zu verändern, rasch durchsetzen. Haut- und Wundflächen sind aber völlig undurchlässig für alle starken Reagentien, für die kräftigen Antiseptika, für die Koagulatoren des Eiweisses, welche die Elektrolyse leicht bis zur beliebigen Tiefe hineinbringt.

Die Coagulation des Serumalbumins durch die Wärme modifiziert

seine elektrische Leitfähigkeit nur wenig, sodass der Strom die Ionen fast eben so leicht in dieses coagulierte Albumin einführt, wie in das flüssige Serum. — Der folgende Versuch beweist wohl die eben angezogenen Tatsachen: man nimmt ein Kaninchen, rasiert auf jeder Seite eine Fläche zur Elektrodenapplikation, tränkt beide Elektroden mit einer Lösung von doppeltchromsaurem Kali und lässt einen Strom von 2 M.-A. pro qcm vierzig Minuten lang einwirken. Das Tier hat auf beiden Seiten die gleiche Zeit hindurch Kontakt mit der Elektrode von doppeltchromsaurem Kali gehabt, aber an der Anode, wo das Kaliumion eingedrungen ist, beobachtet man keine unmittelbare, annähernd schätzbare Folgeerscheinung, während an der Kathode, wo das Chromradikal eingetreten ist, die Haut rot aussieht und lebhafte periphere Kongestion zeigt, das Chromion ist sehr gleichmässig in alle Hautzellen eingewandert, man sieht die Bildung eines Chromschorfs, der nach ungefähr drei Wochen in grösseren Fetzchen abfällt, unter denen eine gesunde Haut sich vorfindet oder auch ein Narbengewebe, je nach der Tiefe, bis zu welcher diese Ätzung durch Penetration vorgeschritten ist. An einer Anode von sehr verdünnter Säure, sodass keine unmittelbare Wirkung entsteht, erhält man einen Säureschorf durch Eintritt des Hydrogenions. An einer verdünnten Alkalikathode bekommt man Übertritt von Hydroxyl und einen Alkalischorf. Mit in Chlorzinklösung getränkten Elektroden wird die gleiche Wirkung an der Anode auftreten: ist die eingeführte Menge genügend, so erhält man einen dem Chlorzinkschorf entsprechenden Schorf, ist sie zu klein, so bekommt man anderweitige trophische oder antiseptische Wirkungen. So sahen wir, dass nach Einverleibung des Zinkions die Kaninchenhaare an der Anodenstelle viel rascher und reichlicher sprossen, als an der Kathode oder anderen rasierten Körperstellen.

Die experimentelle Untersuchung der lokalen Wirkungen der Ionen ist langwierig und schwierig; die Wirkungen variieren nicht nur für jedes Ion, sondern sie variieren auch erheblich mit der Dosis ein und desselben Ions, bei einer bestimmten Dosis erhalten wir Erregung: Steigerung der Vitalität, wie z. B. Haarwachstum, wie in meinem Versuch mit Zink-Ionen; mit einer stärkeren Dosis ergibt sich Paralyse der Lebenserscheinungen, Absterben der Gewebe. Für jede Dose und für jedes Ion ist das Sichtbarwerden der Wirkungen sehr langsam und erfordert Wochen und selbst Monate ununterbrochener Beobachtung. Die Störungen entwickeln sich sehr langsam, sie haben eine Latenzzeit analog derjenigen der X-Strahlen-Effekte.

In manchen Fällen ist es nicht schwer, die Pathogenese der Ionen-Läsion zu erklären. Es ist sehr schwer, mit Alkali- oder Magnesium-

Ionen deutliche Läsionen hervorzurufen. Die Ionen der alkalischen Erden dagegen erzeugen in genügenden Dosen leicht Gewebstod; ihre sehr charakteristischen Wirkungen sind für die einzelnen Metalle sehr ähnlich, ausser nach der Intensität, die von Kalcium über das Strontium zum Barium zunimmt.

Die von uns benutzten Hunde vertrugen ohne Abwehrbewegung unter einer Anode aus der Lösung eines Erdalkali bei langsamer Steigerung der Stromstärke 14—15 M.-A. pro qcm; wurde diese Stromstärke 30 Minuten lang aufrecht erhalten, so war die Applikationsstelle der Haut sehr weiss, als wenn die Gewebe mit Karbonaten, Sulfaten und Phosphaten des Kalciums vollständig imprägniert gewesen wären. Am Tage darauf ist die Stelle ekchymotisiert, schwärzlich geworden; am dritten Tage zeigt sich eine elastische ödematöse Schwellung, die am vierten Tage dicker aussieht; die wie ein ekchymotisch-schwärzlicher Brandschorf aussehende Stelle bildet die Spitze eines stumpfen Kegels von 8—10 mm Höhe, den ein elastisches Ödem bildet. Dieses Ödem wird härter, der Schorf löst sich am Rand ab, und es zeigt sich eine seröser Ulkus auf induriertem Grunde, ähnlich einem harten Schanker; das Geschwür vertieft sich zu einem konischen Krater, von dessen Grund ein kleines Loch in eine grosse, durch tiefe zirkuläre Loslösung des subkutanen Gewebes entstandene Höhlung führt. Erst vierzehn Tage nach der Ionisierung beginnt die Reparation, und nach einem Monat findet sich erst eine Narbe auf stark induriertem Grunde, ganz der Narbe eines luetischen Ulkus ähnlich. Dieser Vorgang ist für Kalcium, Barium und Strontium derselbe.

Alle Säure-Radikale, die mit Erdalkalien unlösliche Salze geben, wirken in einer bestimmten Dose kaustisch; am schmerzhaftesten von allen Ionen ist aber bei seiner elektrolytischen Einführung das der Kohlensäure, das doch überall im Organismus vorkommt; Versuche damit werden sehr durch die heftige Erregung erschwert, in welche die Tiere b einer Einführung geraten.

Sehr eigenartig ist die Wirkung des Schwefelsäure-Ions; unter 10 M.-A. 45 Minuten lang eingeführt, hinterlässt es eine trockene pergamentartige, wie von Firniss glänzende Oberfläche; die Wirkung beschränkt sich also sehr auf die Oberfläche, diese wird schwarz, bleibt aber glänzend und glatt und die nach drei Wochen eintretende Desquamation hinterlässt eine gesunde Haut.

Die Ionen der sogenannten schweren Metalle wirken, wahrscheinlich durch Koagulation des Eiweisses, alle mehr oder weniger kaustisch. Für den Arzt ist das des Zinkes eines der interessantesten. Die Therapie hat die coagulierende Wirkung der Elektrizität bei der Behandlung von

Aneurysmen, Angiomen, Metrorhagieen verwertet, wobei meist eine Platin-Anode verwendet wird.

Es lässt sich leicht ermitteln, dass die Coagulation eine sekundäre Wirkung bei Anwendung einer Platinelektrode ist, sie rührt von den Säureradikalen her, welche dadurch entstehen, dass das Wasser durch die an der Elektrode sich abscheidenden Radikal-Ionen zersetzt wird; nun sind diese Säuren, unter denen die Salzsäure vorwiegt, nicht stark coagulierend; andrerseits hat die Wasserzersetzung den Nachteil, dass sich dabei Blasen von Sauerstoff bilden; der an einer Platinanode sich bildende Gerinnselpfropf ist weich und mürbe.

Stellt man die Elektrolyse des Serums mit Platinnadeln an, so sieht man, dass das schaumige Gerinnsel, um die Anode von reichlichen Sauerstoffblasen getrieben, in kleinen Flocken in die Höhe steigt; verwendet man Zinkstäbe, so tritt keine einzige Gasblase auf, die Zinkanode umgibt sich mit einem zunehmenden Zylinder von geronnenem Eiweiss, bis dieser infolge seines Gewichts abgleitet und auf den Boden des Gefässes sinkt. Das Gerinnsel ist so kompakt, dass es die Form eines festen Hohlzylinders behält. In passender Dosierung ist also das Ion Zink ein unvergleichlich wirksameres Ion als das des Wasserstoffs, den man bei unangreifbaren Anoden wirken sieht.

Ich habe die Ionen vieler anderer Metalle geprüft, besonders die des Strontiums, des Cadmiums, Kupfers, Antimons, Thoriums, Uraniums usw., keines hat so interessante Eigenschaften erkennen lassen, wie das des Zinks.

Die physiologischen Eigenschaften der organischen Ionen sind nicht minder mannigfaltig wie die der anorganischen. Ich habe auf dem letzten Kongresse in Angers die des Adrenalins besprochen.

Durch elektrolytische Einführung der Ionen Kokain und Stovain kann man lokale Anästhesie hervorrufen: Die Einführung vollzieht sich leicht bei einer Stromdichte von 2 M.-A. pro qcm, die Anästhesie ist nach fünf Minuten vollständig. Das Verfahren ist aber wegen der Wirkung der so eingeführten Ionen auf die Haut nicht praktisch; es entsteht zunächst neben der Anästhesie eine Anämie, die unter Kokain länger anhält als unter Stovain, sodann ein schlaffes Ödem; die Einführungsfläche ähnelt einer Urticaria-Quaddel; das Ödem verschwindet dann und hinterlässt eine Gefässlähmung, die sich in braunroter Färbung der Haut äussert und bei Druck verschwindet; diese Lähmung hält länger als vierzehn Tage an, die Oberfläche desquamiert in grossen Fetzen und die Stelle hat eine sehr dauerhafte gelbbraune Färbung. Diese Erscheinungen sind bei Kokain und bei Stovain gleich; sie sind scharf auf die Applikationsstelle beschränkt. Im Gegensatze zu anderen Ionen, z. B. dem Ion Chrom,

zeigen Kokain und Stovain nicht die mindeste Spur von Diffusion um die Einführungsstelle herum.

Ich brauche hier nicht näher auf die interessanten Forschungen über die spezifisch örtliche Ionenwirkungsweise einzugehen, da Frankenhäuser solche Untersuchungen bereits bei einigen Metallen begonnen hat.

Es geben auch die Leitungskurven einige Hinweise auf die lokalen Ionenwirkungen.

So sehen wir, wie das Permanganion, nach Massgabe seines Vordringens, die Gewebsleitung verringert; dies kommt daher, dass infolge seiner sekundären Gewebewirkung ein unlösliches Oxyd entsteht, das die Drüsen verstopft und den Widerstand vermehrt. Hingegen sehen wir, wie durch Einfuhr von Salpetersäureionen die Leitung für das Silberion sehr erleichtert wird.

Manche Ionenwirkungen sind sehr eigenartig, das Lithiumion erzeugt an jeder Drüse einen Purpurfleck, das Morphinion ein papulöses Exanthem, das Adrenalinion bei einer Stromdichte unter 2 M.-A. pro qcm starke Anämie an der Elektrode und weiter stromab, die Venenzüge erscheinen als weisse Stränge, die stark mit der Rosafärbung der Haut kontrastieren. Adrenalininvasion bei grösserer Stromdichte gibt Kongestion.

Elektrochemische Analyse der Gewebe am lebenden Menschen.

Wenn man wiederholt und unter denselben Bedingungen die Teilungskurven derselben Substanz an denselben Individuum untersucht, so erhält man identische Linien. Nach jedesmaliger Stromwendung verhält sich jede Kurve in Bezug auf jedes Ion mit bemerkenswerter Gesetzmässigkeit sich selbst treu. Die Gestalt der Leitungskurven des Körpers für jede Substanz ist so konstant, die Unterschiede zwischen den Kurven der verschiedenen Substanzen derartig, dass jede Kurve für den Stoff charakteristisch ist, dem sie angehört. Zieht man unter sehr gleichen Umständen die Leitungskurve der Körper verschiedener Objekte für dieselbe Substanz, so erhält man Figuren, die die bekannten für die betreffende Substanz charakteristischen Merkmale zeigen, aber dabei zahlreiche Unterschiede, je nach dem Versuchsobjekt, erkennen lassen. Dies zeigt eine Kurvengruppe von Dr. Gonzalez.*) Die vier Kurven jeder Gruppe gelten für die gleiche Substanz, aber eine jede Kurve ist unter sonst identischen Versuchsbedingungen an einem anderen Subjekt aufgenommen. Die Linien zeigen die bestimmten Merkmale der betreffenden chemischen Verbindung, aber unter einander wieder zahlreiche Unterschiede, sie können nicht verwechselt werden, sind nicht gleich hoch, nicht vollständig

*) Siehe dessen Doktor-Dissertation.

parallel. Die erste Gruppe bezieht sich auf eine Kalilösung, die zweite auf Lithium-Chlorid.

Der Körperwiderstand nach der Einführung des Hydroxylions ist:

705 Ohm für die Kurve A
769 „ „ „ „ B
885 „ „ „ „ C
845 „ „ „ „ D.

Die deutlichsten Unterschiede kann man beobachten im Verhalten der jedesmaligen Körperleitung nach Einführung des Hydroxylions zur Leitung nach Einführung des Kaliumions, dieses Verhältnis ist $\frac{C^{OH}}{C^{K}}$ oder

1,097 für die Kurve A
0,921 „ „ „ B
0,930 „ „ „ C
0,923 „ „ „ D.

Zweite Gruppe der vier Kurven der Leitungsfähigkeit des Körpers vier verschiedener Versuchsobjekte für Chlorlithium. Die Leitung des Körpers nach Aufnahme des Lithiums ist:

739 Ohm für die Kurve B
723 „ „ „ „ C
938 „ „ „ „ D
936 „ „ „ „ E

Das Verhältnis der Körperleitungsfähigkeit nach Aufnahme des Lithiums zu jenen nach Chloraufnahme ist:

1,19 für die Kurve B
1,16 „ „ „ C
1,14 „ „ „ D
1,22 „ „ „ E

Man ersieht, dass trotz der Differenzen der Leitungsfähigkeit das Verhältnis $\frac{\text{Leitfähigkeit p. L. l.}}{\text{Leitfähigkeit p. C. l.}}$ eine erhebliche Konstanz besitzt.

Wir besitzen also in den Leitungskurven des Körpers für die verschiedenen Ionen äusserst feine Reaktionsdokumente aller chemischen Ionen in den lebenden tierischen Geweben. Solche Aufzeichnungen sind geeignet, viele individuelle Differenzen aufzudecken, deren Bedeutung

nur nach Vergleichung sehr zahlreicher Kurven abgeschätzt werden kann. Die elektrolytische Kurve unter identischen Bedingungen und die Zusammenstellung der Leitungskurven verschiedener Beobachtungsobjekte bildet demnach faktisch eine Methode der elektrochemischen Analyse der Gewebe des lebenden Menschen.

Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers.

Bis heute wird angenommen, dass der Körperwiderstand hauptsächlich von dem Grade der Durchtränkung und der Durchblutung der Haut abhängig ist; diese Ansicht ist eine Theorie. Die Erfahrung widerlegt sie durchaus, wie ich in vielen Aufsätzen seit vier Jahren nachgewiesen habe.

Man richte einen Stromkreis mit geringer und recht konstanter elektromotorischer Kraft her, worin die Elektrizitätsquelle einen im Vergleich zum Körperwiderstande verschwindenden inneren Widerstand besitzt: Akkumulatoren von grosser Kapazität, städtisches Lichtleitungsnetz oder eine ähnliche Stromquelle genügen vollständig dieser Forderung. Man setzt Elektroden auf die Haut, die gut mit der leitenden Flüssigkeit durchtränkt sind, schliesst den Stromkreis von fünf zu fünf Minuten für solange als notwendig ist, um die Stromstärke abzulesen und man ermittelt, dass, wie auch die Zeit des Elektrodenkontakts auf der Haut ist, die Stromstärke, also der Körperwiderstand beim Durchtreten des Stromes nicht sonderlich schwankt, was beweist, dass die Durchtränkung der Haut durch die Elektrodenflüssigkeit ohne merkliche Beeinflussung dieses Widerstandes bleibt.

Zur Abschätzung des Einflusses der vasomotorischen Erscheinungen auf den Widerstand schliessen wir den Stromkreis, während wir die Hand genau bis zu derselben Tiefe in ein 1proz. Kochsalzbad von 0° und sogleich darauf in ein ebensolches weiteres Bad von 48.° Wärme tauchen. Man muss darauf achten, dass, wenn der Versuch angestellt wird, der Strom jedesmal beide Bäder nacheinander durchsetzt, da der Temperaturunterschied beider einen sehr bemerkenswerten Leitungsunterschied herstellt; unter diesen Umständen übte das rasch hinter einander vorgenommene Eintauchen der Hand in das warme und kalte Wasser und umgekehrt keinen merklichen Einfluss auf die Stromstärke und demgemäss auf den Widerstand des Stromkreises aus.

Nimmt man als grosse Kathode eine Lösung von Chlorkalium und als kleine Anode eine salzsaure Adrenalinlösung, so steckt der Wider-

stand hauptsächlich in der kleinen Elektrode und seine Schwankungen an diesem Punkte müssten den grössten Einfluss auf die Stromstärke äussern. Infolge Eintritts des Stromes dringt Adrenalin an der Anode in die Haut, welche tief anämisch und blass wird, nach der alten Ansicht müsste der Widerstand jetzt wachsen und die Stromstärke viel geringer werden, aber grade das Gegenteil findet statt. Mit dem Adrenalinion fiel, je mehr die Haut anämisch wurde, als ihr Wärmeausstrahlungsvermögen um die Hälfte reduziert war, der elektrische Widerstand von 6000 auf 1066 Ohm. Wir könnten sehr leicht diese Versuche weiter ausdehnen. Man versteht nicht, wie allen Tatsachen widersprechende Ansichten sich in der Wissenschaft erhalten können, nur unter der Herrschaft von Tradition und Gewohnheit.

Der elektrische Widerstand der Haut richtet sich im wesentlichen nach der Zahl und Beschaffenheit der Ionen, die sie beherbergt, d. h. nach ihrer chemischen Zusammensetzung, was unmittelbar durch einen einfachen Blick auf unsere Kurven hier einleuchtet. Auf Einführung des Chlorions eines Chlorids haben wir gesehen, wie der elektrische Widerstand des Körpers in 15 Minuten von 8000 auf 1000 Ohm sank, d. h. auf den achten Teil seines ursprünglichen Wertes zurückging. Der Ersatz des Chlorions durch das Calciumion bewirkte in weniger als 5 Minuten das Anwachsen des Widerstandes von 1000 Ohm auf 4000 Ohm, d. h. vervierfachte ihn. Es handelt sich hier nicht um zufällige unerklärliche, sondern um gesetzmässige Wirkungen, die leicht verständlich und nach Belieben hervorgerufen sind und die stets dieselben Folgen haben.

Der elektrische Widerstand in Abhängigkeit von der chemischen Beschaffenheit der Haut variiert im wesentlichen mit der verwendeten elektromotorischen Kraft, d. h. mit der Schnelligkeit der Ioneneinwanderung, wie es sehr deutlich unsere Kurven auf Fig. 5 zeigen.

Wir sehen den Hautwiderstand für das Natriumion von 6000 Ohm auf 941 Ohm sinken, wenn die elektromotorische Kraft von 2 auf 8 Volt steigt. Für das Chlorion fällt der Hautwiderstand, wenn die elektromotorische Kraft von 2 auf 8 Volt steigt, von 6000 Ohm auf 1692 Ohm, für das Phosphorion beim Anwachsen der elektromotorischen Kraft von 2 Volt auf 12 Volt von 10000 Ohm auf 1200 Ohm, variiert also im Verhältnis von 8 zu 1. Diese Variationen sind übrigens sehr verschieden bei den einzelnen Ionen. Unter diesen Umständen sind alle Widerstandsmessungen ohne Angabe von Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden und der Art des eingeführten Ions und der Elektrodendurchmesser, also

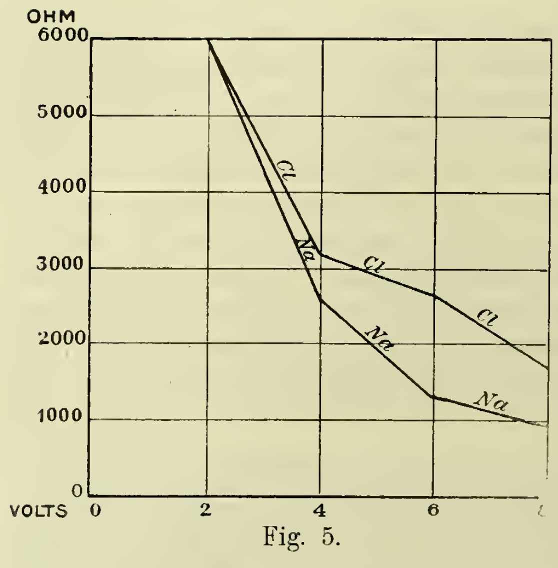


Fig. 5.

alle bis dato gemachten Widerstandsmessungen zu kassieren, sie können gar keine Bedeutung, keinen Wert beanspruchen.

Um den Widerstand für die Diagnose verwenden zu können, muss man alle Ursachen, von denen er abhängt, in Betracht ziehen und dies ermöglicht die Methode unserer Leitungskurven. Man nimmt wiederum eine Stromquelle mit recht konstanter elektromotorischer Kraft und verschwindendem inneren Widerstande, man notiert nach Schluss des Stromkreises von Minute zu Minute die Stromstärke, man trägt die Zeiten auf der Abszisse, die Stromstärken auf der Ordinate ein und zieht die Kurve der Leitung C für die verschiedenen Versuchszeiten bei der jeweiligen elektromotorischen Kraft $C = \frac{1}{R} = \frac{I}{E}$. Da die elektromotorische Kraft konstant ist, so ist C proportional I.

Gibt man Spannung, Art der Ionen, Dimensionen und Art der Applikation der Elektroden an, so hat man die Bedingungen festgelegt, unter denen man konstante, regelmässige Ergebnisse für die Diagnose erhält, die die elektrochemische Analyse der Gewebe des lebenden Menschen aufzustellen und wertvolle Einzelheiten über die verschiedenen chemischen Konstitutionen, die Disposition und Zustände der verschiedenen Individuen beizubringen geeignet sind.

Die Ionen-Geschwindigkeit im lebenden Gewebe.

Für die gleiche elektromotorische Kraft ist die Intensität des elektrischen Stroms im Elektrolyten oder die Menge der abfliessenden Elektrizität in der Zeiteinheit, der Zahl der Ionen und ihrer Geschwindigkeit proportional.

Hittorf und Kohlrausch haben gezeigt, dass in wässeriger Lösung die Geschwindigkeit von der Art der Ionen abhing und man findet in den elektrochemischen Lehrbüchern Tabellen der relativen und absoluten Geschwindigkeit der Ionen in wässerigen Lösungen. Unsere Versuche

über die Leitung der Gelatinelösungen von verschiedenem Konzentrationsgrade zeigen, dass der elektrische Widerstand und die Ionengeschwindigkeit sich nach der Dichte der Gallertmassen richten.

Unsere Diffusions-Versuche in neutraler, saurer und alkalischer Gelatine lassen mutmassen, dass je nach der chemischen Konstitution der gewebsbildenden Colloide, der Bewegungs-Widerstand mit der elektrischen Leitung, folglich die Geschwindigkeit der Ionen für die verschiedenen Ionen variieren muss. Daraus folgt, dass die Ionen nicht dieselbe relative Geschwindigkeit in den lebenden Geweben wie im Wasser haben dürften.

Die Leitungskurven lassen die jeweiligen Geschwindigkeiten der verschiedenen Ionen im lebenden Gewebe mit einander vergleichen. Wenn die Leitung konstant geworden ist, so ist die Stromstärke proportional der Geschwindigkeit der Ionen; das Ion, welches den Körper verlässt, muss immer dasselbe bleiben, so muss das Verhältnis der erhaltenen Stromstärken bei derselben elektromotorischen Kraft für die verschiedenen Ionen das Verhältnis der Geschwindigkeit jedes Ions bilden, das in die Gewebe eindringt.

Da Chlor- und Kaliumionen dieselbe Geschwindigkeit im lebenden menschlichen Gewebe besitzen, so vergleicht man die Geschwindigkeit der Kationen mit jener des Chlors durch Zeichnung der Kurven der an den Chloriden bei 6 Volt gegebenen Intensitäten, und durch Darstellung des Verhältnisses der durch Einführung des basischen Ions erhaltenen Intensität mit jener, die von der Einführung des Chlorions stammt. In analoger Weise vergleicht man die Geschwindigkeiten der Anionen mit der des Kaliums.

Die so erhaltenen Geschwindigkeitsverhältnisse unterscheiden sich sehr von den Geschwindigkeitsverhältnissen derselben Ionen im Wasser, was unsere frühere Behauptung rücksichtlich der Existenz eines für jedes Ion besonders geltenden Widerstandes in den colloiden Lösungen bestätigt.

Das Geschwindigkeitsverhältnis des Hydroxylions zum Chlorion ist in unendlich dünnen Wasserlösungen $= \frac{325}{70} = 4{,}62$, während in unsern Geweben dieses Verhältnis $= 0{,}88$ ist, also 5,25 mal schwächer. Hingegen ist das Verhältnis der Lithiumgeschwindigkeit zu der des Chlors, welches im Wasser $= \frac{39{,}8}{70{,}2} = 0{,}56$ ist, in unsern Geweben 1,28, also 2,28 mal so gross.

Die Geschwindigkeit des Hydroxyls im Wasser ist 2,28 mal grösser als die des Chlorions, während seine Geschwindigkeit in unseren Geweben 1,6, d. h. beinahe 2,3 mal kleiner ist.

Es ist zu bemerken, dass die Ionen, deren Geschwindigkeiten im Organismus sehr gering sind, wie das Wasserstoff- und Hydroxylion, diejenigen sind, welche sekundäre Gewebs-Wirkungen, Ätzung der Drüsenkanäle, nach ihrem Eindringen hervorbringen.

Bei der gleichen elektromotorischen Kraft ist die jeweilige Ionengeschwindigkeit bei den verschiedenen Subjekten nicht dieselbe und es wird nötig werden, die physiologischen Umstände, die diese Unterschiede bedingen, zu untersuchen.

Die Dosierung der in die lebenden Gewebe eingeführten Ionen.

Die Beschaffenheit der mit einer gegebenen Elektrizitätsmenge eingeführten Ionen richtet sich nach ihrer jeweiligen Geschwindigkeit, wie folgende Formeln zeigen:

$$\begin{array}{ccccccccccc} & \text{Anode} & & & \text{Körper} & & & \text{Kathode} & & \\ + & \frac{\overset{+}{K}}{J} & \frac{\overset{+}{K}}{J} & & \frac{\overset{+}{Na}}{Cl} & \frac{\overset{+}{Na}}{Cl} & \frac{\overset{+}{Na}}{Cl} & & \frac{\overset{+}{K}}{J} & \frac{\overset{+}{K}}{J} & - \end{array}$$

vor Durchtritt des Stroms;

$$\begin{array}{ccccccccccc} J & J & Cl & \frac{\overset{+}{K}}{Cl} & \frac{\overset{+}{K}}{Cl} & \frac{\overset{+}{Na}}{J} & \frac{\overset{+}{Na}}{J} & Na & Na & K & K \end{array}$$

nach Durchtritt des Stroms.

Wird der Körper durch Chlornatrium-, die Elektroden durch Jodkaliummoleküle dargestellt, so kann man sich vorstellen, dass die Kationen eine doppelt so grosse Geschwindigkeit als die Anionen besitzen, man sieht, dass nach Passieren des Stroms, wenn drei Äquivalente an jeder Elektrode abgeschieden sind, also für dieselbe Quantität fortgeführter Elektrizität, zwei Kationenäquivalente an der Anode, ein Anionenäquivalent an der Kathode in den Körper eingetreten sind.

Allgemein gesprochen: wenn U die Geschwindigkeit eines Ions, V die eines anderen ist, so ist der Anteil beider an der Elektrizitätsfortbewegung $\frac{U}{V+U}$ für das Ion mit der Geschwindigkeit U und $\frac{V}{V+U}$ für das Ion mit der Geschwindigkeit V. Das Gewicht jedes dieser beiden durch eine bestimmte Elektrizitätsmenge Q eingeführten Ionen erhält man also durch das Produkt $\frac{U}{V+U}$ Qe, oder $\frac{V}{V+U}$ Qe, d. h. durch das Produkt des den Anteil des Ion an der Fortleitung der Elektrizität dar-

stellenden Faktors in die Elektrizitätsmenge Q und das elektrochemisch Äquivalent e des entsprechenden Ion; die Formel zeigt, dass, wenn die Geschwindigkeiten gleich sind, die eingeführte Menge beider Ionen gleich $\frac{1}{2}$ Q e ist.

Änderung der Nervenerregbarkeit durch die Ionen.

Wenn man durch die Haut auf elektrolytischem Wege Ionen in einen motorischen Nerv einführt, so ändert man seine Erregbarkeit.

Um dies nachzuweisen, bringt man eine Batterie mit Stromwähler, eine Induktionsspirale und einen Rheostaten in denselben Stromkreis; die Spule und die Batterie werden je nach dem vorzunehmenden Versuch bald hintereinander (durch Verbindung ihrer entgegengesetzten Pole), bald nebeneinander (durch Verbindung der gleichnamigen Pole) geschaltet, eine grosse indifferente Elektrode wird auf das Epigastrium, eine aktive aus einer dicken Schicht hydrophiler Gaze bestehende mit der zu untersuchenden Substanz imprägnierten auf den N. ulnaris hinter der Ellbogenrinne gelegt, mittels eines runden Kartonstücks zur Verteilung des Drucks auf eine weite Fläche wird diese Elektrode stark auf den Arm gepresst, ohne die Zirkulation zu stören.

Die Kontraktionen des m. add. pollicis durch den Strom werden mit Hilfe eines geeigneten Schreibers aufgezeichnet, ein Metronomunterbrecher wird in den Stromkreis gebracht, die Entfernung der Spulen auf dem Schlitten wird derart reguliert, dass man Kontraktionen des M. add. pollicis erhält, die registrierten Zuckungen stellen nun für den angewendeten Reiz den Erregbarkeitsgrad des N. ulnaris an der aktiven Elektrode dar. Man unterbricht nun den Strom durch Anhalten des Metronoms, lässt eine Viertelstunde lang einen konstanten Strom von 10 M.-A. derart eintreten, dass man die Ioneneinwanderung untersuchen kann, d. h. man nimmt die aktive Elektrode als Anode zur Durchlassung der Kationen, die Kathode zu der der Anionen. Nach fünfzehn Minuten schaltet man den Strom mit dem Kollektor aus, lässt das Metronom weiter schlagen und registriert von neuem die Zuckungen des Add. pollicis, der Unterschied der Amplitude dieser Zuckungen und der zuerst beobachteten bringt die Änderung in der Erregbarkeit des Nerven zur Anschauung. Um die starken Widerstandsschwankungen des Körpers herabzusetzen, wird ein grosser nicht polarisierbarer Widerstand in den Strom gebracht.

Indem man so nacheinander Zuckungen in Intervallen von zwei zu zwei Minuten hervorruft, sieht man die Erregbarkeit des Nerven allmählich auf ihren Ausgangswert zurückkehren.

Fig. 6 zeigt die Veränderung der Erregbarkeit unter dem Morphinion, die erste Gruppe der Zuckungen rechts zeigt die Erregbarkeit des

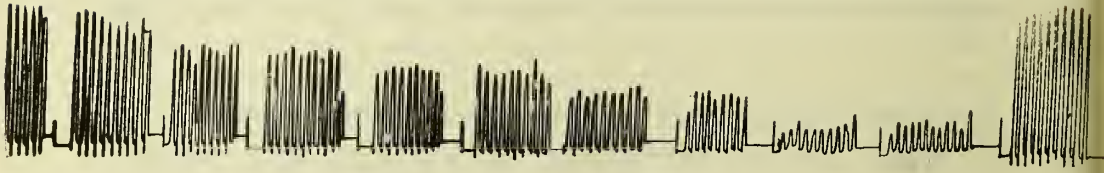


Fig. 6. (Von rechts nach links zu lesen.)

Nerven vor dem Versuch, die zweite Gruppe dicht nach dem Durchtritt eines einviertelstündigen 10 M.-A. starken Stromes mit der Anode am Nerven, die andern Gruppen sind in Pausen von je 2 Minuten nach einander aufgenommen; man sieht, dass die Erregbarkeit erst nach 18—20 Minuten ihren Anfangswert wieder erhält, diese Zeit kann natürlich nur die Eliminationszeit des Nerven für das Morphin sein.

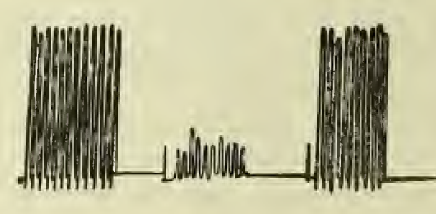


Fig. 7.

In Fig. 7 zeigt die rechte Zuckungslinie die Erregbarkeit nach Einführung von Morphin in den Nerven, die letzte linke Zuckungsgruppe die Nervenerregbarkeit nach $2^1/_2$ Minuten langem Durchtritt eines Stroms von 16 M.-A., der im entgegengesetzten Sinne verläuft, also mit der Kathode am Nerven; man sieht, wie der umgekehrte Strom die Rückkehr der Erregbarkeit beschleunigt, d. h. den Austritt des Morphins.

Fig. 8, deren Kurve als Morphinkurve aber mit der Kathode auf dem Nerven zur Einführung des Arsenions aufgenommen wurde, zeigt, dass dieses Ion die Erregbarkeit sehr wesentlich steigert, welche nach ungefähr 10 Min. ihren Normalwert wieder erreicht.

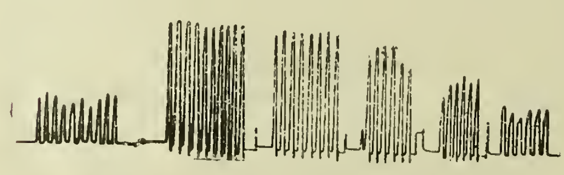


Fig. 8. (Von links nach rechts zu lesen.)

Das Salicylion (Fig. 9) ruft zuerst eine erhebliche Verminderung der Erregbarkeit hervor, diese nimmt ziemlich schnell ihre ursprüngliche Schwelle wieder an, überschreitet sie hierauf und kehrt nur langsam zu ihr zurück.

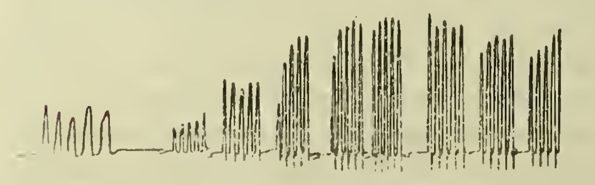


Fig. 9.

Fig. 10, 11 und 12 zeigen die Wirkungen der Kokaïn-, Lithium- und Kakodylione auf die Nervenreizbarkeit.

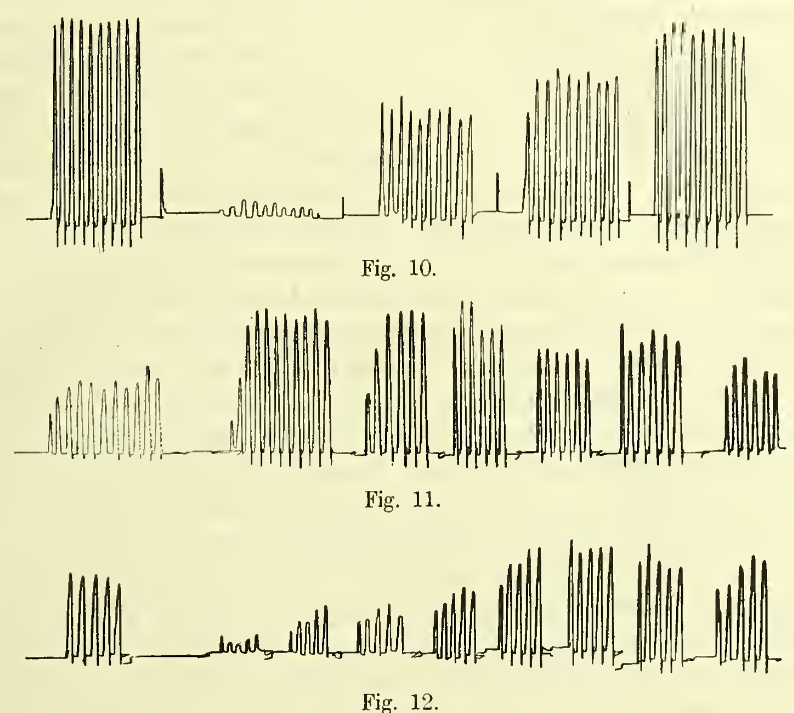


Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 12.

Alle diese Versuche zeigen deutlich, dass die Bedeutung der Ionen für die Nervenerregbarkeit im lebenden Gewebe eine hochwichtige ist.

Verwertung der Elektrolyse in der Medizin.

Die jüngst erschlossenen elektrolytischen Erkenntnisse am Organismus können für Diagnose und Therapie benutzt werden.

Schon die Verwendung der Messungen des elektrischen Körper-Widerstandes für die Diagnose wurden versucht, aber wir sahen, dass dieser Widerstand der Durchblutung und Durchtränkung der Haut zugeschrieben wurde, dass aber die Bedeutung dieser Faktoren auf den Widerstand fast verschwindend ist. Anderseits kümmerte man sich nicht um die Ionenbeschaffenheit und namentlich um die Strom-Spannung, unter der man den Widerstand mass; wir haben gesehen, dass der Widerstand der Haut hauptsächlich von diesen Bedingungen abhängt und dass er mit ihnen in ausserordentlichen Verhältnissen schwankt, nicht nur ums doppelte, sondern um mehr als das achtfache. Es ist klar, dass alle

bisher angestellten Körper-Widerstandsmessungen ohne die Berücksichtigung der Ionenbeschaffenheit und der Spannung an den Elektroden nicht verwandt werden können, denn sie sind einfach nicht zu vergleichen.

Aus unserer Darstellung folgt, dass man vollständig vergleichbare Resultate, die für die Diagnose verwertbar sind, erhalten wird durch Angabe 1) der Oberfläche und der Einwirkungsstelle der Elektroden, 2) der Art der Ionen bis zur Konstanz des Stroms, 3) der Spannungs-Differenz beider Elektroden im Augenblicke der Widerstandsmessung. Das beste ist, die Leitungskurven für die verschiedenen Ionen unter einer gegebenen Spannung und die Widerstandskurven für ein gegebenes Ion unter verschiedener Spannung zu zeichnen. Es ist sicher, dass die Vergleichung dieser Kurven unter gleichen Bedingungen der Diagnose wertvolle Hilfsmittel bieten wird, die reichlicher und viel umfangreicher ausfallen werden, als man auf Grund der alten Ansicht erwarten konnte, da so viele Kurvenpaare zu vergleichen sein werden, als es Ionen gibt. Die neueren Fortschritte bieten demnach hiermit den jungen Untersuchern ein fast unermessliches Feld, in welchem die einzuschlagenden Wege völlig festgelegt sind, da es genügt, nach den in dieser Arbeit beschriebenen Methoden für die verschiedenen Versuchsobjekte die Leitungskurven für die verschiedenen Ionen bei gegebener Spannung, und für ein gegebenes Ion die Widerstandskurven unter verschiedenen Spannungen zu ziehen. Die Reichhaltigkeit der durch diese Methode zu erwartenden Nachweise rechtfertigt die von uns gewählte Bezeichnung als elektrochemische Analyse der Gewebe des menschlichen Körpers.

Da die polaren Wirkungen nur Ionenwirkungen sind, so müssen sie durch alles, was den Ionenaustausch beeinflusst, stark abgeändert werden. Die elektrolytische Einführung von Ionen erfordert so sorgfältige Kautelen, wie die Handhabung der Asepsis. Macht man die aktiven Lösungen mit beliebigem filtriertem Wasser, wählt man die die Elektrode bildende hydrophile Substanz nicht sorgfältig aus, so bleibt die gewollte Wirkung nicht nur aus, sondern es tritt auch eine andere Wirkung auf. Die aktiven Lösungen müssen mit möglichst reinem, destilliertem und vor Luftzutritt geschütztem Wasser hergestellt werden. Die hydrophilen Gewebe müssen ohne eine Spur einer elektrolytischen Substanz sein; das famose, eine Zinnplatte bedeckende Gemsleder muss ganz aus dem elektrotherapeutischen Rüstzeuge verschwinden. Stoffe, die in einer Lösung von Pottasche gelegen haben, dürfen nicht verwendet werden.

Die Elektroden dürfen keine andere elektrolytische Substanz enthalten, als diejenige, die man verwenden will; sie müssen vor der Anwendung noch einmal in destilliertem Wasser gespült werden. Es

existieren hydrophile Baumwollengewebe, die diesen Forderungen genügen. Wenn möglich, soll die metallische Anode aus dem Metalle bestehen, das in der Flüssigkeit zur Befeuchtung der Elektroden enthalten ist. In anderen Fällen soll das den Elektrolyten enthaltende Elektrodenkissen so dick sein, dass die an ihrer Berührungsfläche mit den Elektrodenplatten entstehende Ionen nicht in die Haut eindringen.

Therapie.

Wir haben gesehen, dass die unangreifbaren Anoden sich alsbald mit einer sauren Hülle umgeben, die von den sauren Radikalen des Körperhaushalts und dem Hydrogen des Wassers, dessen Oxygen frei wird, stammt; diese Elektroden sind also gleich sauren Anoden, sie schaffen das Ion H in die Tiefe der Gewebe und ihre physiologische Wirkung ist derjenigen analog, welche man durch recht gleichmässig verteilte interstitielle Injektionen saurer Lösungen, deren Konzentration der Strom-Intensität proportional wäre, erreichen könnte. Man kann auf Grund dieser Erkenntnisse sich diese Wirkungen darlegen, aus der Indikation ihre Verwendung erschliessen, diese voraus bestimmen und regulieren.

Die angreifbaren aktiven Anoden also umgeben sich mit den Salzlösungen ihres Metalls, die durch die sauren Radikale des Körperhaushalts entstehen, sie wirken wie die interstitiellen ganz gleichmässig verteilten Injektionen dieser Salze, mit Konzentrationen, die den Intensitäten der Wirkung proportional sind; das sind also ebenfalls leicht zu übersehende Wirkungen, deren Indikationen man entsprechend beurteilen kann. Unsere Kenntnisse ermöglichen die Wahl des Metalls, aus welchem die aktive Anode im gegebenen Falle bestehen muss.

Die metallischen Kathoden sind gleich alkalischen Lösungen, wir können folglich ihre Wirkungen vorhersehen und ihre Indikationen beurteilen.

Wie wir in dem theoretischen Abschnitt gefunden haben, sind alle Kathoden aus Salzlösungen, gleich der interstitiellen Injektion (in vollkommen gleichmässiger Verteilung) von Salzen, die aus den Säure-Radikalen der Elektrodensalze in Verbindung mit den Basen des Organismus bestehen. Auch hier ist es somit leicht, die Wirkungen und zweckmässige Verwendung vorauszusehen und zu regeln.

Die Salzanoden sind gleich den Anoden aus aktiven Metallen und die gelegentlich an diesen letzteren gesammelten Beobachtungen sind auf sie anwendbar.

Diese einfache Aufzählung zeigt wohl, wie ausgedehnte Hilfsmittel die Elektrolyse der Therapie bietet, denn man kann ebensoviele spezielle lokale Wirkungen, als Ionen existieren, hervorrufen und mit einer Voll-

kommenheit, die keine andere therapeutische Methode gewährt, die Intensität dieser Wirkungen abstufen vom geringsten Grade bis zu einer für die Gewebe tötlichen Wirkung. Die Ausbreitung der lokalen Ionenwirkung gilt für alle Ionen ohne Ausnahme, sogar die am wenigsten aktiven, wie Natrium und Chlor, können sich in manchen Punkten des Gewebes so anhäufen, dass sie eine tötliche Wirkung auf die Zellen ausüben.

Die früheren therapeutischen Anwendungen werden durch die neuerlichen Fortschritte erläutert.

Indes sind die Anwendungsindikationen der therapeutischen Elektrolyse noch viel zahlreicher. Mit der Hineinschaffung mancher antiseptischer oder kaustischer Ionen besitzt man zur Desinfektion und Sterilisation der Gewebe in der Tiefe oder zur Ausübung einer kaustischen Wirkung das vollendetste Verfahren, das es in der Medizin gibt, welches am meisten den Anforderungen der modernen Wissenschaft entspricht.

Die Antiseptika sind entweder allgemein toxisch oder Eiweisskoagulatoren, die letzteren werden fast allein in der Praxis verwendet, sind aber als Gerinnselbilder nur oberflächliche Antiseptika; das lebende Gewebe ist für sie absolut undurchdringlich; eine Tatsache, die ich gern besonders betonen möchte, ist, dass für diese ganze so wertvolle Medikamentenklasse der elektrische Strom das Eindringen bis zu jeder beliebigen Tiefe der lebendenden Gewebe erlaubt, die eiweisskoagulierenden Substanzen diffundieren nicht und der elektrische Strom ist das einzige Mittel, welches wir haben, um sie ins Gewebe zu bringen. Aus diesem Verhalten folgen bestimmte Anzeichen für die jedesmalige Verwendung der Ionenmedikation, wenn man in der Tiefe desinfizieren will. Die Elektrolyse ist fast das einzige Mittel, über das wir in dieser Hinsicht verfügen.

Beim Kapitel vom Widerstande habe ich dem Befremden Ausdruck gegeben, welches das zähe Festhalten der Wissenschaft an irrtümlichen Auffassungen unter der Herrschaft der Tradition und der Gewohnheit zeitigen kann und muss. Ein noch interessanteres Faktum ist es, zu sehen, wie die Medizin manche Lehrsätze als absolute, felsenfeste Wahrheiten hinstellt und dabei Methoden ersinnt, die im vollständigen Widerspruche mit diesen Prinzipien stehen. So sind z. B. die Notwendigkeit der Asepsis, die Nützlichkeit der Antisepsis bei der chirurgischen Operation eine allgemeine Forderung und trotzdem sehen wir, wie die Chirurgen, nachdem sie so oft gesagt haben, dass Gewebetrennung nur in völlig aseptischem Operationsfelde stattfinden darf, mit ihren scharfen Curetten in tuberkulöse Herde hineinfahren, dort zahllose Gefässe er-

öffnen, den Bazillus in die Blutbahnen bringen und so die fast stets darauffolgende Entstehung zahlreicher metastatischer Herde hervorrufen. Diese Bemerkung gilt für die Auskratzung der Gebärmutter, des Nasenrachenraumes und viele andere gefährliche Operationen. Alle diese Operationen müssen verlassen und durch die geeignete elektrolytische Ionenbehandlung ersetzt werden. Bei Anwendung einer aktiven Zinkanode gibt es nach ein bis höchstens vier Sitzungen keine ungeheilte Endometritis mehr, ohne dass dabei chloroformiert, Gefässe geöffnet, eine allgemeine Infektion riskiert zu werden braucht. Wir haben nie eine Metrorrhagie gesehen, die der elektrolytischen Zinkanode widerstanden hätte, bei 15—20 Minuten langen Sitzungen und 100 M.-A. Stromstärke. Zink ist eines der antiseptischsten Metalle, eine Elektrode aus 12—20 Lagen hydrophiler Gaze, getränkt mit einer Chlorzinklösung von 1 Prozent, als Anode auf ein vereitertes Gewebe, chronische Geschwüre, tuberkulöse Herde, ein Cancroid des Gesichts appliziert, gibt nach ein bis vier Sitzungen bei 2 M.-A. Stromstärke pro qcm und von 15—20 Minuten Dauer anhältig eine vollständige Wund-Desinfektion, eine rasche Narbenbildung, zur Verwunderung aller Fachleute, die es sehen. Die Operation erfordert fast keine Nachbehandlung, da die behandelte Fläche mit einer gewissen Schicht sterilen Stoffes bedeckt bleibt, der mit dem medikamentösen Ion durchtränkt und der beste antiseptische Verband ist. In der Folge genügt es, einen Verband anzulegen, um die Wunde vor mechanischer Reizung und Unsauberkeit zu schützen. Notwendig zur Erzielung einer gleichmässigen Wirkung auf der gesamten zu behandelnden Fläche ist ein gewisser Grad von Kompression mit Hilfe einer elastischen Binde.

Es ist klar, dass diese Beobachtungen sich nicht auf die Säure-Ätzungen des Hydrogen- oder die Alkaliwirkung des Hydroxyl-Ions beziehen, welche die Gewebe zerstören ohne das antiseptische Ion zu erhalten.

Eine der regelmässigsten therapeutischen Wirkungen des galvanischen Stromes ist seine resolvierende Kraft auf die sklerösen und narbigen Bildungen, seine sklerolytische Wirkung. Vollkommene Ankylosen der Gelenke heilen schnell ohne gewaltsame Bewegungen, ohne Schmerz, die Ankylose verschwindet von Tag zu Tag, die Gelenke erlangen die völlige Beweglichkeit wieder. Für sämtliche Gliedergelenke, ausser der Hüfte und der Schulter, ist das Resultat sicher, regelmässig, schnell, wenn nur die Krankheitsursache nicht weiter wirkt und keine Infektion eintritt, welche die Wirkung des Stromes vernichtet. Die elektrische Sklerolyse erhält man an Kathoden von 1 prozentiger Kochsalzlösung, eine solche Sklerolyse ist Elektrolyse. An der Kochsalzkathode verlieren die oberflächlichen Gewebe ihre Kationen, welche von denen der tiefen Schichten

ersetzt werden und das Chlorion der Kochsalzlösung aufnehmen. Dieser Austausch ändert vollständig ihre chemische Konstitution, wie es die Änderung der elektrischen Leistungsfähigkeit zum Ausdruck bringt. An einer Elektrode von 6 qcm haben wir den konstanten Widerstand, d. h. nach Saturation der Gewebe durch das Chlorion, zu 600 Ohm bei 2 Volt, 3200 Ohm bei 4 Volt, 2700 Ohm bei 6 Volt und 1700 Ohm bei 8 Volt gefunden. Diese erheblichen Schwankungen sind der Ausdruck der proportionellen Veränderung der chemischen Konstitution der Gewebe, und die Erfahrung zeigt, dass diese Veränderungen an einer Kochsalzkathode Sklerolyse bewirken.

Soll man vielleicht zu der Deutung der polaren Wirkungen des konstanten Stroms die Bewegungen des Wassers im Organismus heranziehen? Dubois Reymond hat seit 1860 die Austrocknung der Gewebe um die Anode und die daraus resultierende Widerstandsvermehrung betont.

Bringt man auf eine Glasplatte schleimige, feuchte Körner und Wasser und schickt einen elektrischen Strom hindurch, so sieht man die Körner austrocknen und sich nach der Anode bewegen, während der Schleim sich an der Kathode anhäuft, woselbst die Körner sich entfernen (Fig. 13). Diese Wirkung ist dem Übergange von Wasser von der Anode zur Kathode zuzuschreiben. Ensch hat einen ähnlichen Vorgang beim Frosch nachgewiesen. Jedenfalls ist Sklerolyse an der Kochsalzkathode immer dann eine regelmässige, konstante und wirkungsvolle Erscheinung, wenn das skleröse Gewebe für den elektrischen Strom mit genügender Dichte erreichbar ist.



Fig. 13.

Wir haben eine Ankylose sämtlicher Finger und des Handgelenks gesehen, die sich an eine Phlegmone der Hand angeschlossen, sechs Monate bestanden und zahlreichen Behandlungsmethoden getrotzt hatte, worunter die gewaltsame Streckung in der Narkose, und welche nach zwei galvanischen Sitzungen vollständig verschwand. Wir haben eine grosse Zahl vollständiger Knie-Ankylosen dem elektrischen Strom völlig weichen sehen. Dieser ist um so wirkungsvoller, je besser ihm die kranken Teile zugänglich sind, deshalb erhält man die besten und schnellsten Ergebnisse an den Gelenken, die nicht mit Weichteilen umgeben sind und deshalb sind auch die Hüft- und Schultergelenkaffektionen für diese Behandlungsart so refraktär.

Aus demselben Grunde sind die Fortschritte am Beginn der Behandlung rascher als später. Zur Einwirkung auf tiefe Teile braucht man so starke Ströme, als die Personen es ertragen können.

Bei allen elektrolytischen Anwendungen des galvanischen Stroms ist die Elektrodenfrage sehr wichtig. Zur Anwendung der Lösung verwenden wir einen Stoff von hydrophiler Gaze, den wir zehn oder zwanzig Mal zusammenlegen, dieser Stoff wird gut angefeuchtet und schmiegt sich dann sehr gut an die Haut, auf welcher wir ihn ausbreiten, wir ziehen ihn an, umwickeln mit ihm ein Glied oder sogar den Körper, er wird dann mit einer elastischen Metallplatte zugedeckt, über der man die kleine mit dem Rheostaten in Verbindung stehende Metallplatte befestigt; es ist gut, alles mit einer Binde zu fixieren. Diese Anordnung erheischt grosse Reinlichkeit, die hydrophile Gaze muss nach jeder Sitzung gewaschen und gekocht werden. Man kann so sehr starke Ströme einwirken lassen. Spürt der Kranke unter der Elektrode einen lebhaften lokalisierten Schmerz, so muss man alsbald den Strom unterbrechen und die Elektrode aufheben; man wird dann eine Exkoriation finden, die man mit einem Tropfen Kollodium betupft; man kann hierauf die Sitzung wieder beginnen und man wird bei solchem Vorgehen nie Schorfe bekommen.

Bei den gegen die Therapie sehr widerspenstigen sogenannten rheumatischen Scleritiden und Episcleritiden ist die Wirkung des auf das geschlossene Lid applizierten negativen Pols konstant und rasch, man verwendet 5—10 M.-A., je nach Toleranz des Kranken, 5—10 Minuten lang; in zwei bis fünf Sitzungen, zwei Mal wöchentlich, sieht man die ältesten und refraktärsten Skleritiden verschwinden. Ebenso wirksam ist die Behandlung gegen chronische Iritis. Trotzdem wir nie dazu haben greifen müssen, so wäre bei aseptischer und Kokaïnanwendung eine Elektrodenapplikation hydrophiler Gaze mittels Metallwelle um den Augapfel selbst gewiss sehr einfach.

Ich habe Fälle von Ozaena geheilt, die jahrelang allen flüssigen oder pulverigen Lokalapplikationen widerstanden haben, indem ich in drei oder vier Sitzungen das Ion Zink mit einer in verdünntes Zinkchlorid getauchsten Elektrode einführte, die um einen Zinkstab gewickelt war; nach Einführung des umwickelten Stabes in ein Nasenloch liess ich während einer Viertelstunde 6—10 M.-A. passieren; dabei war das freie Ende der Elektrode durch Gummipapier von der äusseren Haut isoliert.

Die Einführung des Ions Zink leistet besonders gute Dienste bei der Behandlung von Fussgeschwüren, eingewachsenen Nägeln, ulcerierten Leichdornen, entzündeten Schwielen und dergl.

Ich habe anderwärts die ausgezeichneten Erfolge geschildert, die man bei gewissen Neuralgieen durch elektrolytische Einführung der Salicylsäure- und Chinin-Ionen erzielt. Professor Bergonié und seine Schüler haben gezeigt, wie ausgezeichnet bei Rheumatismus die Einführung des Salicyl-Ions wirkt.

Übrigens ist die Verwertung des elektrischen Stromes zur Einverleibung von Medikamenten der Erkenntnis der Erscheinung vorausgegangen. Um 1846 behauptet Dr. Klenke die Skrofeln durch elektrische Jodeinführung geheilt zu haben. Hassenstein veröffentlichte 1855 ähnliche Beobachtungen. 1886 behandelte Wagner Neuralgie durch elektrolytische Kokaïnanwendung, Herzog benutzte dasselbe Mittel zur Urticariabehandlung, Peterson führte auf elektrischem Wege Kokaïn und Aconitin bei der Behandlung der Neuralgien in den Körper ein, Schroster und Albran behandelten Augenerkrankungen durch elektrolytische Jodeinführung.

C. Gärtner und Ehrmann, später Kronfeld behandelten mit Erfolg Syphilis, indem sie auf elektrolytischem Wege das Quecksilber des Sublimats in dem Gärtnerschen Zweizellenbade in den Körper brachten: der Merkur trat im Urin auf und die therapeutischen Resultate sind zweifellos.

1889 wies Edison auf die elektrolytische Einführung des Lithiums für die Behandlung der Gicht hin. Diese Behandlung wurde mit Erfolg von Labatut, Jourdanet, Porte, Guilloz, Bordier und Leuillieux ausgeübt.

Foveau de Courmelles schlug vor, die Tuberkulose durch elektrolytische Jodeinführung zu behandeln.

Reynold behandelte die parasitären Hautkrankheiten, den Favus, die Pityriasis versicolor, den Herpes tousurans usw. mit elektrolytischer Merkuraufnahme, wobei eine Sublimatlösung als Anode diente.

Sudnik behandelt die örtliche Tuberkulose durch Chlorzink-Elektrolyse.

Prof. Bergonié und Roques behandeln rheumatische Affektionen mit dem Salicylion, ich selbst habe eine Anzahl Neuralgien mit sehr befriedigendem Ergebnisse mit Salicylion behandelt.

Die elektrolytische Methode kann ebenso als Eliminationsmethode für toxische und pathologische Ionen gelten; schon 1855 benutzte sie Poey in New-York zu diesem Zwecke (Comptes rendes, Académie des Sciences de Paris), 1873 schrieb Engel in Nancy eine Doktorarbeit unter dem Titel: Über die Metalle des menschlichen Körpers und im besonderen über ihre Austreibung durch den elektrischen Strom. Franken-

häuser hat kürzlich auf experimentellem Wege die Auswanderung der Körperionen bei der Elektrolyse in Übereinstimmung mit der Theorie aufgezeigt und Bordier hat das Ausscheiden des Harnsäure-Ions unter dem Einfluss des Stroms festgestellt.

Die heutige Theorie kommt bei allen Anwendungsweisen der Elektrolyse zur Geltung: bei der Behandlung der Aneurysmen und Tumoren (Ciniselli, Tripier, Betton Massey), in der Gynäkologie bei Anwendung unangreifbarer Elektroden (Chéron, Apostoli), oder mittels löslicher Elektroden (G. Gautier, Boisseau du Rocher, Alb. Weill) gegen die Verengerung der organischen Röhren (Jardin, Fort, Newman), gegen die Angiome (Bergonié), in der Epilation usw. Alle diese Anwendungsweisen besitzen heute eine vollständige wissenschaftliche Grundlage, welche ihrer Anwendung eine grosse Präzision verleiht.

Diese Aufzählung zeigt, für wie viele ärztliche Verrichtungen die Elektrolyse heute schon geeignet ist; ganz gewiss werden die grossen Fortschritte der Theorie durch die Klarheit und Sicherheit, welche sie über die Methode verbreiten, eine noch weit reichere Anwendung derselben veranlassen.

